

④ 日本国特許庁(JP)

⑤ 特許出願公開

⑥ 公開特許公報(A) 平3-28830

⑦ Int. Cl.³

識別符号

序内繰返番号

⑧ 公開 平成3年(1991)2月7日

G 02 F 1/35
G 01 C 13/08
G 02 B 6/00

3 7 6 B

7348-2H
7414-2F
7036-2H※

審査請求 未請求 請求項の数 34 (全35頁)

⑨ 発明の名称 ファイバオプティックスシステムおよび低い時間コヒーレンスを有する光を発生する方法

⑩ 特 願 平1-320351

⑪ 出 願 平1(1989)12月7日

優先権主張 ⑫ 1988年12月7日 ⑬ 米国(U.S.) ⑭ 281,088

⑯ 発 明 者 マイケル・ジェイ・エフ・ディゴネツト アメリカ合衆国、カリフォルニア州、バロ・アルト ハーバード・ストリート、2307

⑰ 出 願 人 ザ・ボード・オブ・トラスティーズ・オブ・ザ・レランド・スタンフォード・ジュニア・ユニバーシティ アメリカ合衆国、カリフォルニア州、スタンフォード セラ・ストリート、857、セカンド・フロア

⑱ 代 理 人 弁護士 深見 久郎 外2名
最終頁に続く

明 細 書

1. 発明の名称

ファイバオプティックスシステムおよび低い時間コヒーレンスを有する光を発生する方法

2. 特許請求の範囲

(1) ファイバオプティックスシステムであって、

波長の第1のスペクトルでのポンピング光を放出するためのポンプ源(100)、レーザ材料でドープされた光ファイバ(108)とを含み、波長の前記第1のスペクトルでの前記ポンピング光の強度は波長の第2のスペクトルでの前記レーザ材料内のレーザ光のスーパー連続光線を引き起こすのに十分であり、前記レーザ光は第3および第2の成分を含み、前記第1および第2の成分は前記レーザ光が放出される位置において実質上反対方向性であり、さらに、

周波数の前記第1のスペクトルでの前記ポンプ源(100)からの放出された光を前記ドープされた光ファイバ(108)の一方端内へ導くた

めの結合器(104)を含み、前記ポンピング光の強度は前記レーザ材料内の周波数の前記第2のスペクトルでのスーパー連続光の放出を誘起するのに十分であり、前記結合器(104)は前記波長の前記第2のスペクトルに対するとは異なる周波数の前記第1のスペクトルに対する結合効率を有することを特徴とする、ファイバオプティックスシステム。

(2) 前記結合器(104)が波長の前記第1のスペクトルでの前記ポンピング光の実質上十分な結合を与え、かつ波長の前記第2のスペクトルでの前記レーザ光の結合を実質上抑制する、請求項1に記載のファイバオプティックスシステム。

(3) 前記結合器(104)が波長の前記第2のスペクトルでの前記レーザ光の実質上十分な結合を与え、かつ波長の前記第1のスペクトルでの前記ポンピング光の結合を実質上抑制する、請求項1に記載のファイバオプティックスシステム。

(4) 前記結合器(104)が波長の前記第2のスペクトルでの前記レーザ光の実質上50%

の結合を考慮、かつ波長の前記第1のスペクトルでの前記ポンピング光の結合を本質上抑制する、請求項1に記載のファイバオプティックスシステム。

(5) 前記第1および第2の光成分のうちの少なくとも1つを反射するための反射器(118)をさらに含む、先行の請求項のいずれか1つに記載のファイバオプティックスシステム。

(6) 前記結合器(104)が第3のポートを有し、前記反射器(118)が前記第3のポートにおいて前記結合器(104)に結合され、それゆえ前記結合器(104)の前記第3のポートから発出する光を前記結合器(104)の前記第3のポートに回して反射する、請求項5に記載のファイバオプティックスシステム。

(7) 前記反射器(118)が前記ドープされた光ファイバ(108)の第2の端部に結合され、前記レーザ光が前記ドープされたファイバ(108)の前記第1の端部を介して前記ドープされたファイバ(108)を出る、請求項5に記載のファイバオプティックスシステム。

テム。

(13) 波長の前記第2のスペクトルが1060nmでの波長を本質的に含む、先行の請求項のいずれか1つに記載のファイバオプティックスシステム。

(14) 前記レーザ材料がホソ期イオンを含む、かつ前記ドープされた光ファイバ(108)が、アルカリ、アルカリ土系金属、ケイ酸塩、ゲルマニウム酸塩、リン酸塩又はホソ酸塩ガラスから本質的になる群から選ばれたホソガラスで作られる、先行の請求項のいずれか1つに記載のファイバオプティックスシステム。

(15) 前記ホソ土材料がホソジウム、 ytterbium または erbium である、請求項14に記載のファイバオプティックスシステム。

(16) 前記ドープされた光ファイバ(108)が前記結合器(104)の前記第2のポートとの結合のために光ファイバに溶融されるかまたは接合される、先行の請求項のいずれか1つに記載のファイバオプティックスシステム。

(8) 前記レーザ光が前記結合器(104)の第1のポートにおいて前記結合器(104)を介して前記ドープされたファイバ(108)を出る、請求項7に記載のファイバオプティックスシステム。

(9) 前記結合器(104)が第3および第4のポートを有し、かつ前記反射器(118)が前記第3および第4のポートの間でループを形成する光ファイバを含む、請求項5に記載のファイバオプティックスシステム。

(10) 前記ドープされた光ファイバ(108)が前記レーザ材料でドープされた単一モードファイバである、先行の請求項のいずれか1つに記載のファイバオプティックスシステム。

(11) 前記結合器(104)内の光の前記結合がエバネッセントフィールド結合に起因する、先行の請求項のいずれか1つに記載のファイバオプティックスシステム。

(12) 波長の前記第1のスペクトルが806nmでの波長を本質的に含む、先行の請求項のいずれか1つに記載のファイバオプティックス

(17) 前記反射器(118)が誘電体ミラーを含む、請求項5に記載のファイバオプティックスシステム。

(18) 前記反射器(118)がメタリックミラーを含む、請求項5に記載のファイバオプティックスシステム。

(19) 前記波長(100)がレーザダイオードである、先行の請求項のいずれか1つに記載のファイバオプティックスシステム。

(20) 前記波長(100)が色変レーザである、先行の請求項のいずれか1つに記載のファイバオプティックスシステム。

(21) 前記波長の前記第2のスペクトルで放射される前記光が広い帯域幅を有する、先行の請求項のいずれか1つに記載のファイバオプティックスシステム。

(22) 前記結合器(104)が並置された光ファイバの第1および第2の長さを含む、それらが前記第1および第2の長さの間の光の結合を促進し、光ファイバの前記第1および第2の長さの

各々が第1の端面部分および第2の端面部分を有し、前記ポンプ源(100)が光ファイバの前記第1の長さの前記第1の端面部分に結合され、光ファイバの前記第1および第2の長さが光ファイバの単一の連続するストランドを形成し、前記光ファイバストランドがループ部分および2つの線部分を形成し、それぞれがそれぞれ前記ポンプ源(100)および前記ドープされた光ファイバ(108)に接続される、請求項1に記載のファイバオプティックシステム。

(23) ファイバオプティックシステムであって、

周波数の第1のスペクトルでポンピング光を放出するためのポンプ源(100)と、

レーザ材料でドープされた光ファイバ(108)とを含み、前記ポンピング光の強度は、前記レーザ材料が前記ポンピング光でポンピングされるときの周波数の第2のスペクトルでの前記レーザ材料内のスーパー蛍光レーザ光の放出を誘発するのに十分であり、前記レーザ光が少なくとも第1および

第2の成分を有し、さらに、前記レーザ光の前記第1および第2の成分のうちの少なくとも1つを反射するための反射器(118)を含み、さらに、

前記光の前記第1および第2の成分のうちの少なくとも1つをフィルタ処理するためのフィルタ(804)を含み、前記フィルタ(804)が選択された低い強度依存性を有し、それゆえ前記フィルタ(804)によってフィルタ処理されるレーザ光がフィルタ処理されないレーザ光よりも低い強度依存性である、ファイバオプティックシステム。

(24) 前記反射器(118)が前記ポンプ源(100)と前記ドープされた光ファイバ(108)との間に置かれ、前記反射器(118)が周波数の前記第1のスペクトルでの前記ポンピング光を低減しかつ周波数の前記第2のスペクトルでの前記レーザ光を反射する、請求項23に記載のファイバオプティックシステム。

(25) 前記ドープされた光ファイバ(10

8)が前記反射器(118)と前記フィルタ(804)との間に置かれ、請求項23に記載のファイバオプティックシステム。

(26) 前記フィルタ(804)が前記反射器(118)と前記ドープされた光ファイバ(108)との間に置かれ、請求項23に記載のファイバオプティックシステム。

(27) 前記ドープされたファイバ(108)内に共振空間を形成するための第2の反射器(118)をさらに含む、請求項23に記載のファイバオプティックシステム。

(28) 前記レーザ光が広い帯域幅を有する、請求項23に記載のファイバオプティックシステム。

(29) 前記レーザ光が長い帯域幅を有する、請求項23に記載のファイバオプティックシステム。

(30) 低い時間コヒーレンスを有する光を発生する方法であって、

周波数の第1のスペクトルでのポンピング照射

の輝(108)を設けるステップと、

前記ポンピング照射でレーザ材料でドープされた光ファイバ(108)をポンピングするステップとを含み、それゆえ周波数の第2のスペクトルでの前記レーザ材料内のスーパー蛍光光の放出を発生し、前記スーパー蛍光光が少なくとも2つの成分を有し、さらに、

光結合器(104)内で前記ポンピング光および前記スーパー蛍光光を多変化するステップを含み、それは前記光ドープされたファイバ(108)と前記鏡(100)とに接続され、さらにそれは周波数の前記第1のスペクトルおよび周波数の前記第2のスペクトルに對して異なる結合効率を有することを特徴とする、方法。

(31) 前記スーパー蛍光光の前記成分のうちの少なくとも1つを反射しさらに前記反射された成分を前記光ドープされたファイバ(108)内に向けるステップをさらに含む、請求項30に記載の低い時間コヒーレンスを有する光を発生する方法。

(32) 低い時間コヒーレンスおよび低い温度依存性を有する光を発生する方法であって、

励起光の第1のスペクトルでのポンピング照射の導(100)を設けるステップと、

励起光の第2のスペクトルでのレーザ材料内でのレーザ光の放出を発生するように前記レーザ材料でドープされた光ファイバ(102)を前記ポンピング照射でポンピングするステップとを備え、前記レーザ光は少なくとも2つの成分を有し、さらには、

前記第1および第2の成分のうちの少なくとも1つを前記ドープされた光ファイバ(102)内に限って反射するステップと、

選択された励起依存性を有するファイバ(804)を用いて前記レーザ光の前記第1および第2の成分のうちの少なくとも1つをフィルタ処理するステップとを備え、それゆえフィルタ処理された成分がフィルタ処理されない光よりも低い温度依存性を有することを特徴とする、方法。

(33) 前記ポンピングステップが前記ドー

プされたファイバ(102)内のスーパー励起光を誘起するステップを含む、請求項2に記載の低い時間コヒーレンスを有する光を発生する方法。

(34) 前記フィルタ処理ステップが、

前記レーザ光の前記第1の温度ドリフトに実質上等しくかつ反対の方向のものである予め定められた第2の温度ドリフトを有する光結合器(104)を選択するステップと、

前記結合器(104)を用いて前記レーザ光の前記第1および第2の成分のうちの少なくとも1つを結合して第3の温度ドリフトを有する結合された成分を発生するステップとを備え、それによって前記結合された成分の前記第3の温度ドリフトが実質上キャンセルまたは最小化される、請求項2に記載の低い時間コヒーレンスを有する光を発生する方法。

3. 発明の詳細な説明

発明の分野

この発明は一般的にはファイバオプティック装置に関し、かつより特定のには、低時間コヒー

レンスを有する広帯域光信号を放出するためのスーパー励起ファイバレーザ装置に関する。

発明の背景

光ジャイロスコープ、光プロセッサなどの低時間コヒーレンス光信号を用いる光学装置の出現は、比較的高い出力を有しかつ比較的低コヒーレントな光信号を放出する広帯域光源の必要性を作り出した。たとえばジャイロスコープにおいて、典型的には1μmまたはそれ以上の長さである、光ファイバがループに巻かれ、かつ光信号が両方の方向にループ内を循環させられる。ループの動きは、増幅の「ヤニャック」効果に従う逆伝播する光信号の間の位相差を引き起こす。この位相差はそれからジャイロスコープの回転を測定するために用いられる。「ヤニャック」効果に従って、ループの回転は逆伝播する光信号のうちの1つの定常振幅を増加させる。それゆえ相対的な振幅差は2つの逆伝播する光信号のループを介する振幅の差に出る光信号の結果となる。この振幅差は位相差として検出器によって測定され、それはこうし

てジャイロスコープのシステムが受ける回転の角速度を示す。ループ内に導入される光信号が低時間コヒーレンスを有し、それゆえリリーチ後増幅からの干渉効果を避けることが望ましい。回転によって誘起される位相シフトは比較的小さいので、いかなる干渉効果でも検出器によって測定された位相差を確かに実質的に変化するかもしれない、かつループの回転の実際の速度の測定に制限を提供する。理論上の予測と実験の結果との間の不同もまた、残りのファイバ屈折率と周囲のものとの間の非同調時に誘起された位相差に帰された。低時間コヒーレンスを有する広帯域光源の使用がカー効果を用いることもまた示された。この発明の開示はPCT特許出願特許番号82/01542号において見出しされ、それは1982年1月1日に出版されかつこの出願の譲受人に譲渡された。

レーザよりも低い時間コヒーレンスを有するがしかし通常の熱的黒コヒーレントな光源よりも高い空間的コヒーレンスを有する広帯域黒コヒー

レント光源がそれゆえ光ファイロスコープなどの光学装置内に導入するために好適である。さらに、これらの光源が小さくかつコンパクトでかつ近いエネルギー消費を有することが好ましい。

発光ダイオード(LED)は光を光ファイバ内に送り出すために一般的に用いられてきた。LEDはそこを介して流れる電流の通断の下で光を放出する。光はホール・電子の結合によって引き起こされるエネルギーのフォトンから来る。ダイオードは外層部から両方向にバイアスされる。光ファイバ内に光信号を送り出すために用いられるLEDの構造についての詳細は、ロバート・ジ・セibel (Robert G. Seibel) による、パーゴニア・レストン・レストン・パブリッシング・カンパニー・インコーポレーテッド (Reston Publishing Company, Inc., Reston, Virginia)、「ファイバオプティクス」(Fiber Optics)、p. 107-111に見い出される。LEDは、本質的に非コヒーレントでありかつそれゆえファイロスコープにおける応用に適する光を放出する一方で、

LEDによって放射される光信号の出力は一般的に強度が不十分であり、かつ大変低い回転速度の検出を困難にする。さらに、LEDによって放射される光の波長のスペクトルは実質上広帯域特性であり、それはファイロスコープなどの多くの光ファイバ応用に対して所望でない特徴である。最終的に、LEDの光ファイバファイロスコープへの結合は真実的には不十分な質である。

超放射LEDはまた通常のLEDの低いエネルギー出力によって起こる問題を除去するために用いられてきた。超放射LEDは通常のLEDを超える進歩を要するけれども、好ましくは単一モード光ファイバである、光ファイバ内に超放射LEDから結合される光信号は純い。さらに、超放射LEDの時間コヒーレンスは通常のLEDでのように低くはない。さらに、超放射LEDによって放射される光は帯域選択の純潔なので、それはより臨場依存を受けやすく、かつそれゆえファイロスコープおよび他の光学システムにおける使用のために必要とされる堅固性に欠ける。

Ga (Al) Asダイオードレーザなどの半導体レーザダイオードは近赤外線領域において望遠で連続的に動作し、光学システムにおける光源としての使用に対して大気透過する近赤外光を放出する。しかしながら、半導体レーザダイオードによって放出される光の時間コヒーレンスは典型的には大気透過、かつファイロスコープなどの長時間光を必要とする光学システムにおいて不所望な効果を引き起こし得る。

ファイバオプティックファイロスコープにおいてこれまで用いられた他の小信号近域光源は、スーパーミネセントダイオード(SLD)である。しかしながら、SLDは一般的に拡張安定性を満足せず、なぜならばそれらの放射波長は温度(300 ppm/°C)および光フィードバックに大気透過しやすいからである。加えて、それらは単一モードファイバ内への高い結合損失を受け、2、3 mWの応用可能なパワーのみを典型的には提供する。商業的に使用可能なスーパーミネセントダイオードもまた短寿命を示す。さらに、単一

モードファイバへの結合はスーパーミネセントダイオードの不十分な空間コヒーレンスによって妨げられる。その格償として、上記で説明された非ファイバ光源はファイロスコープおよび他の光学装置における使用のために最適な光源であるとは考えられず、なぜならばそれらはすべて感度感度および波長安定性に関する要件を満たさないからである。

代替の可能性は、十分高いレベルまで光学的にポンピングされて、同様にスーパーミネセントと呼ばれる増幅された自然放射(Amplified Spontaneous Emission) (ASE)を介して古いスーパー増光出力を発生する高利得ファイバの使用である。活性イオンでドープされた単一モードガラスファイバは、それらが提供し得る高い光利得によって論議されるようにスーパー増光源のための良い候補である。ファイバ形式内のドープYAGなどの高利得材料はドープされたファイバ層において特定の有利である。しかしながら、ドープされたガラスファイバはより広いスペクトル

路端で光を放出するという不所望な特点を提供する。ドーパされたファイバにおいて用いられるホスト材料の性質における最近の進歩は、高いポンピング光強度に耐える必要なくドーパされたファイバ内でスーパー励光が起こることを可能とした。ドーパされたファイバにおけるA S Eの理論的分断がマイケル・ディズネット(Michael Disson)による記事において開示され、それは、ジャーナル・オブ・ライトウェーブ・テクノロジー(Journal of Lightwave Technology), Vol. 1, No. 11, 1986年11月の「スーパー励光ファイバレーザの理論(Theory of Superfluorescent Fiber Lasers)」である。この記事はここに引用によって光を放出する援用される。A S Eによって光を放出するドーパされたファイバを含む実験的装置がまた以下の2つの記事に開示され、それは、「1060nmでのスーパー励光モードNd:ファイバ筋(Superfluorescent Single Mode Nd:Fiber Source at 1060 nm)」、ケイ・リュウ(K. Liu)など、エレクトロニクス・レター(Electronic Letters), Vol. 23, No. 24, 1987年11月、および「905, 1, 06および1.3ミクロンでのネオジムファイバレーザ(Neodymium Fiber Laser at 0.905, 1.06 and 1.3 microns)」、P.ロなど、オプティカル・ソサエティ・オブ・アメリカ・アニュアル・ミーティング(Optical Society of America Annual Meeting)、シアトル(Seattle)、ワシントン(Washington)、1986年10月、である。これらの記事の両方がここに引用により援用される。

何れの場合も、スライザー(Saltzer)などに対する参照特許第4, 637, 025号において光源が開示され、それは増幅された自然放射の物理的現象を用いる。この特許はここに援用により引用される。上記の特許において表明される光源は低活性レーザー材料でドーパされたファイバに結合されるポンプ源を含む。ポンプによって光ファイバ内に放出された光はドーパされたファイバ内で増幅された自然放射を生じるのに十分な強度を有

する。結果としての放出はドーパされたファイバの一端において出て、それはポンプ源に結合されない。前述の特許において開示される代替の装置においては、結果としてのA S Eレーザ放出の逆方向内流はポンピング源およびドーパされたファイバの間に設置付けられるダイクロイックミラー上に反射され、かつ順方向成分に結合される。よって放出される光はドーパされたファイバ内に経路通り消される。順方向成分がドーパされたファイバを一度横切り、かつそれゆえファクターCによって増幅され、Cはドーパされたファイバの利得である。A S E光信号の逆方向成分がポンプ内へフィードバックされ、それによってポンプ増幅の共振を誘起し、かつポンプ源の出力を安定してもよい。スライザーによって開示される第2の実施例において、A S E信号を反射するダイクロイックミラーが用いられる。ダイクロイックミラーなどの誘電体ミラーは典型的には互いの界面上に積み重ねられた多量の誘電体層で形成される。これらの誘電体層はそれぞれの層の表面上に反射する光の一部を必ず反射し、かつこうして層によって放出されるポンピング照射のいくらかをそこへ戻って反射し、それによってポンピング源の空射角でのフィードバックを作る。この光フィードバックはポンプ源のパワーを減じ、かつまたスーパー励光出力パワーの変動を生ずる。さらに、ポンプ光信号が反射層を介して送り出される。それは

する。結果としての放出はドーパされたファイバの一端において出て、それはポンプ源に結合されない。前述の特許において開示される代替の装置においては、結果としてのA S Eレーザ放出の逆方向内流はポンピング源およびドーパされたファイバの間に設置付けられるダイクロイックミラー上に反射され、かつ順方向成分に結合される。スライザーによって開示される第2の実施例はジョイントスコープにおいて今までに用いられた光源を超える改良であるが、この発明の光源によって除去されいくつかの不利益を省する。スライザーによって開示されるA S Eレーザ源において、結果としての光信号はそこからそれが放出されるA S E源と同じ温度依存性を少なくとも有する。A S Eレーザ源の温度依存性は感度応用に対して相対的に高いかもしれないので、スライザーによって要求される結果としてのA S Eレーザ源の温度依存性は感度応用において受入れ可能ではないかもしれない。さらに、スライザーの特許において開示された第1の実施例において、ポンプ源に

よって放出される光はドーパされたファイバ内に経路通り消される。順方向成分がドーパされたファイバを一度横切り、かつそれゆえファクターCによって増幅され、Cはドーパされたファイバの利得である。A S E光信号の逆方向成分がポンプ内へフィードバックされ、それによってポンプ増幅の共振を誘起し、かつポンプ源の出力を安定してもよい。スライザーによって開示される第2の実施例において、A S E信号を反射するダイクロイックミラーが用いられる。ダイクロイックミラーなどの誘電体ミラーは典型的には互いの界面上に積み重ねられた多量の誘電体層で形成される。これらの誘電体層はそれぞれの層の表面上に反射する光の一部を必ず反射し、かつこうして層によって放出されるポンピング照射のいくらかをそこへ戻って反射し、それによってポンピング源の空射角でのフィードバックを作る。この光フィードバックはポンプ源のパワーを減じ、かつまたスーパー励光出力パワーの変動を生ずる。さらに、ポンプ光信号が反射層を介して送り出される。それは

ポンプ源の結合効率を減じる。さらに、反射器は光のいくつかの部分、それが特定の波長で光を反射するように設計されるとでき、伝送されることを必ず可能にする。ポンプ源とドープされたファイバとの間のミラーの存在はポンプ源の空腔内への逆方向成分によって誘起されるフィードバックを減らすけれども、決してそのようなフィードバックを除去しない。

スナイザーの実施例において、ポンプ源とドープされたファイバとの間の結合は他の不利を生じ、それらはすべてこの世間において開示される装置においては避けられる。特定のには、スナイザーの装置におけるポンプ源はドープされたファイバを結合し、それは極端の、パラボリックインデックス、自己位置決めファイバレンズまたは鎖のファイバレンズまたは単にドープされたファイバのコア上の球形端部を用いる。レンズまたはミラーなどの先結合要素はあまり良い結合効率を有さない。それが可能なときはいつ、光ファイバのみを用いる結合方法が好ましかった。ポンピング

が励起されるべき光ファイバの両端でポンピングは、特定のには、ポンピング源と光ファイバとの間の結合効率を実質上増す。しかしながら、これは、結合されるべき光エレメントが本質的に光ファイバであることを必然的に得る。しかしながら、スナイザーの装置において用いられる結合光学系は光ファイバを用いない。スナイザーの装置は光ファイバの優れた結合特性を利用せず、かつそれらを利用することができるとように考え設計されない。

こうして、低時間コヒーレンス、高熱度、高空間的コヒーレンス、低温度依存性を有する光を放出し、かつファイバ光学系装置における慣用に対して良好に適合された光源に列する必要性が存在する。

発明の要約

この発明に従って、第1の局面において、ファイバ光学系装置が開示され、それは、波長の第1のスペクトルでのポンピング光を放出するための源と、レーザ材料でドープされた光フ

ァイバとを含み、波長の第1のスペクトルでのポンピング光の強度は波長の第2のスペクトルでのレーザ材料におけるレーザ光のスーパー放射放出を克服するのに十分であり、レーザ光は第1および第2の成分を含み、第1および第2の成分はレーザ光が放出される位置において実質上逆方向性 (counterdirectional) であり、さらに、少なくとも第1のポートおよび第2のポートを有する光結合器を含み、第1のポートはポンプ源に結合されてポンプ源からのポンピング光を受け取り、第2のポートはドープされたファイバの第1の端部に結合され、それゆえ第1のポートから第2のポート内へ結合器によって結合されるポンピング光がドープされたファイバ内へ送り出され、結合器は波長の第1および第2のスペクトルのうちの一方を逆方向的に結合し、かつ波長の第1および第2のスペクトルのうちの他方の結合を抑制し、さらに第1および第2の光成分の少なくとも1つを反射するための反射器を含む。

この発明の1つの好ましい実施例において、結

合器は好ましくは波長の第1のスペクトルでのポンピング光の実質上十分な結合を与え、さらに波長の第2のスペクトルにおいてレーザ光の結合を実質上抑制する。

この発明の別の好ましい実施例において、結合器は波長の第2のスペクトルでのレーザ光の実質上十分な結合を有し、かつ波長の第1のスペクトルでのポンピング光の結合を実質上抑制する。

結合器はまた波長の第2のスペクトルでのレーザ光の実質上50%の結合を有してもよく、かつ波長の第1のスペクトルでのポンピング光の結合を実質上抑制する。

典型的には、結合器は第3のポートを有し、反射器は第3のポートにおいて結合器に結合され、それゆえ結合器の第3のポートから突出された光を結合器の第3のポートに戻って反射する。

反射器はドープされたファイバの第2の端部に好ましくは結合され、レーザ光はドープされたファイバの第1の端部を介してドープされたファイバを出る。

そのような実施例において、レーザ光は幾何的には結合窓の側のポートにおいて結合器を介してドープされたファイバを出る。

この発明の例の好ましい実施例において、結合器は第3および第4のポートを有してもよく、かつ反射器は第3および第4のポートの間にレーザを形成する光ファイバを含んでもよい。

原則的には、ドープされたファイバはレーザ材料でドープされた単一モードファイバである。結合器における光の結合は幾何的にはエバネセントフィールド結合に起因する。波長の第1のスペクトルは806nmでの波長を本質的に含み、ところが波長の第2のスペクトルは1060nmでの波長を本質的に含む。レーザ材料は好ましくは希土類イオンを含み、しかしドープされた光ファイバは好ましくは、アルカリ、アルカリ土類酸塩(alkaline earth silicates)、ケイ酸塩、ゲルマニウム酸塩(germanates)、リン酸塩またはホウ酸塩ガラスから本質的になる群から選ばれたホストガラスで好ましくは作られる。希土類材料は

スペクトルに対する異なる結合効率を有する。好ましくは、増放数の第2のスペクトルでこのファイバオプティック光源によって放射される光は広い帯域幅を有する。

この発明はまた装置を説明し、それは、波長の第1のスペクトルを有するポンプ光の源と、レーザ材料でドープされた光ファイバを含み、光ファイバは波長の第1のスペクトルでのポンピングに反応して波長の第2のスペクトルでの光を放射し、さらに入力ポートおよび出力ポートを有する光結合器を含み、入力ポートはポンプ光に結合されてポンプ光からの光を受取り、出力ポートは光ファイバに結合されてレーザ材料をポンピングし、結合器は波長を区別でき、それゆえ波長の第1および第2のスペクトルのうちの一方を選択的に結合しかつ波長の第1および第2のスペクトルの他方の結合を抑制する。

この発明の例の別面に従えば、ファイバオプティックシステムが説明され、それは、増放数の第1のスペクトルでのポンピング光を放射するための

好ましくは、ネオジム、イットリウム、エルビウムである。

この発明の好ましい実施例において、ドープされたファイバは、結合器の第2のポートとの結合のために光ファイバに増放されるかまたは能がれるかのいずれかである。反射器は好ましくは減速ミラーであるが、しかしまたメタリクミラーを含んでもよい。添に關しては、それは好ましくはレーザダイオードまたは色増レーザである。

この発明に従えば、第2の両面において、ファイバオプティック光源が指示され、それは、増放数の第1のスペクトルでの光を吸収しかつ増放数の第2のスペクトルでの光を放射するレーザ材料でドープされた光ファイバと、増放数の第1のスペクトルでのポンプ光から放射された光をドープされたファイバの一方端内に向けるための結合器とを含み、ポンピング光の強度はレーザ材料内での増放数の第2のスペクトルでの光の増幅された自然放射を誘起するために十分であり、結合器は増放数の第1のスペクトルおよび増放数の第2の

のポンプ源と、第1および第2の長さの間で光の結合を提供するように並列にされた光ファイバの第1および第2のストランドを含み、光ファイバの第1および第2の長さの各々はそれぞれ第1の増放部分および第2の増放部分を含み、ポンプ源は第1の光ファイバ長の第1の増放部分に結合され、かつレーザ材料でドープされた光ファイバを含み、ポンピング光の強度は、レーザ材料がポンピング光でポンピングされるととき増放数の第2のスペクトルでのレーザ材料内でのレーザ光のスーパー連続放射を誘起するのに十分であり、ドープされた光ファイバは光ファイバの第1および第2の長さのうちの1つに結合され、結合器は増放数の第1のスペクトルおよび増放数の第2のスペクトルに対する異なる結合効率を有する。エバネセントフィールド結合が好ましくは用いられる。

レーザ光は幾何的には少なくとも第1および第2の成分を含み、第1および第2の成分はレーザ光が放出される位置において実質上逆方向である。反射器は好ましくは第1および第2のレーザ光

分のうちの1つを反射するために施えられる。この反射器はドープされた光ファイバの一端へまたは光ファイバの第2の長さの第1の端部部分へ施えられる。結合効率を好ましくは同波長の第1のスペクトルに対して実質上0であり、かつ同波長の第2のスペクトルに対して実質上1である。

この装置の実施例において、ドープされたファイバが第1の長さの第2の端部部分に結合される。典型的には、結合効率は同波長の第1のスペクトルに対して実質上1であり、かつ同波長の第2のスペクトルに対して実質上0である。それはまた同波長の第1のスペクトルに対して実質上0であってもよく同波長の第2のスペクトルに対して実質上0、うであってもよい。

いずれの場合においても、ドープされたファイバが好ましくは光ファイバの第2の長さの第2の端部部分に結合される。第1および第2の長さはまた光ファイバの単一の連続する長さを形成してもよく、ループ部分および2つの線部分を形成する光ファイバはそれぞれポンプ線およびドープさ

れた光ファイバに接続される。

この発明の別の局面に従って、ファイバオプティクスシステムが説明され、それは、同波長の第1のスペクトルでのポンピング光を伝送するためのポンプ線と、レーザ材料でドープされた光ファイバを含む、ポンピング光の強度は、レーザ材料がポンピング光でポンピングされるとき同波長の第2のスペクトルでレーザ材料内のレーザ光の放出を誘起するのに十分であり、レーザ光は少なくとも第1および第2の成分のうち少なくとも1つをフィルタ処理するためのフィルタを含む、フィルタは選択された臨値感度特性を有し、それゆえフィルタ処理手段によってフィルタ処理されるレーザ光はフィルタ処理されないレーザ光よりも本質的に小さな感度特性を有し、さらにレーザ光の第1および第2の成分のうち少なくとも1つを反射するための反射器を含む。レーザ光は好ましくはスーパービーム光によって誘起される。

この実施例において、反射器はポンプ線および

ドープされた光ファイバの間に置かれてよく、反射器は選択的に同波長の第1のスペクトルでのポンピング光を伝送しかつ同波長の第2のスペクトルでのレーザ光を反射し、ところがドープされた光ファイバは反射器とフィルタとの間に置かれてもよい。フィルタはまた反射器とドープされた光ファイバとの間に置かれてもよい。ファイバオプティクスシステムはまたドープされたファイバ内で共振空腔を形成するための第2の反射器を含む。レーザ光は広いまたは狭い帯域幅を有してもよい。

この発明はまた低時間コヒーレンスを有する光を発生する方法をも開示し、それは、同波長の第1のスペクトルでのポンピング照射の源を設け、同波長の第2のスペクトルでのレーザ材料内でのスーパービーム光の放出を発生するようにレーザ材料でドープされた光ファイバをポンピング照射でポンピングするステップを含む、スーパービーム光は少なくとも2つの成分を有し、かつ光結合器内でポンピング光およびスーパービーム光を多倍化し、

それは光ドープされたファイバおよび線に接続され、かつそれは同波長の第1のスペクトルおよび同波長の第2のスペクトルに対する異なる結合効率を有する。

この方法は好ましくはスーパービーム光の成分のうち少なくとも1つを反射し、さらに反射された成分を発光ドープされたファイバ内に向けるステップを含む。

この発明の別の局面に従えば、低時間コヒーレンスおよび臨値感度特性を有する光を発生する方法が開示され、それは、同波長の第1のスペクトルでポンピング照射の源を設け、同波長の第2のスペクトルでレーザ材料のレーザ光の放出を発生するようにレーザ材料でドープされた光ファイバをポンピング照射でポンピングするステップを含む、レーザ光は少なくとも2つの成分を有し、選択された臨値感度特性を有するフィルタを用いてレーザ光の第1および第2の成分のうち少なくとも1つをフィルタ処理するステップを含む、それゆえフィルタ処理された成分はフィルタ処理され

ない光よりもより低い温度依存性を有し、かつ第1および第2の成分のうちの少なくとも一つをドープされた光ファイバ内に収めて渡す。ポンピングステップはドープされたファイバ内でスーパー励光を誘起するステップを含む。

この発明の別の態面に従えば、長時間コヒーレンスおよび高温度依存性を有する光を発生する方法が開示され、それは、増幅器の第1のスペクトルでのポンピング照射の態を設け、増幅器の第2のスペクトルでのレーザ材料内でのレーザ光の放出を発生するようにレーザ材料でドープされた光ファイバをポンピング照射でポンピングし、レーザ光は少なくとも2つの成分および第1の温度ドリフトを有し、レーザ光の第1の温度ドリフトに対して実質上等しくかつそれに対して反対方向のものとなる予め定められた第2の温度ドリフトを有する光結合器を選択するステップを含む、かつ結合器を用いて光の第1および第2の成分の少なくとも一つを結合し、それゆえ両方の温度ドリフトを有する結合された成分を発生し、それによ

って結合された成分の第3の温度ドリフトが実質上キャンセルまたは最小化される。

この発明はまた装置を開示し、それは、ファイバオプティック結合器を含み、それは、誘起されたファイバの端で増幅器の第1のスペクトルにおいて光の結合を提供しかつファイバ間の増幅器の第2のスペクトルでの光の結合を誘起するための1列の光ファイバを含み、さらに、1列のファイバの一方の第1の端部に結合されたポンピング照射の源を含み、ポンピング照射は増幅器の第1のスペクトルを有し、さらにファイバの他方の第1の端部に結合される増幅されるべき信号の源を含み、増幅されるべき信号は増幅器の第2のスペクトルを有し、かつ光ファイバはレーザ材料を含み、材料の増幅されるべき信号の増幅器の第2のスペクトルのうちの一方でのレーザ動作を有するレーザ材料がポンピング照射でポンピングされ、光ドープされたファイバが一方端において1列のファイバの一方の第2の端部に結合される。

本発明のこれらおよびその他の利点は次の説明

および図面の参照によって最もよく理解される。

新しい発明の要約と説明

本発明の新しい実施例は「スーパー励光」または「増幅された自然放出」として呼ばれる物理的現象に基づいている。この現象は本発明の新しい実施例において重要な役割を果たし、スーパー励光に対する説明が以下に提示される。

スーパー励光：理論的背景

スーパー励光はレーザ空洞で起こる信号増幅に付随する寄生現象としてレーザ実験者および設計者によって一般に考えられていた。特に、スーパー励光は以下で説明されるように、多数の大信号利得レーザシステムにおいてかなり望ましくない役割を果たした。

光源はレーザング材料の吸収スペクトルに対応する波長で光を放出するように、ポンピング光源およびレーザング材料を湾曲の空洞に置くことは周知である。レーザ材料のイオン、分子または原子は次に上側レーザングレベルの上のエネルギーレベルに励起される。放電の後、フォノン放射によ

るレーザング材料の分子、イオンまたは原子の最初の緩和は上側レーザングレベルでイオン、分子または原子の母集団を生ずる。このレベルから、イオン、分子または原子は下側レーザングレベルに緩和し、レーザング材料の特性である波長で光を放出する。最適なフォノン放出源が下側レーザングレベルおよび接地レベルの間に起こって、高い放電率がポンピングされたイオン、分子または原子内の上側および下側レーザングレベルの間に存在するように、下側レーザングレベルが接地レベルの上にあるのが好ましい。

このように励起された母集団で、レーザ反原において周知であるように、レーザング材料は非常に高い増光を与える。すなわち非コヒーレント光の任意の放出である。N₄:YAGクリスタルの場合、ネオジウムイオンの平均寿命は励起された状態で230ピコ秒である。したがって反転分布によって表わされるエネルギーは広帯域放射として加算することができる、かなり低いことがある。この現象は一般に増幅された自然放出(ASE) また

光源はポンピングソースによって端面ポンピングされたレーザングリッドを照射的に含む。照射の結合方法によってレーザングリッドに送られるポンプ照射は、A S E をもたらす状態を与えるほど十分に強い。結果の出力レーザビームは、ビームがグリッドを抜けてビームを適切に放出した順下のグループによる増幅を経た後で、レーザングリッドの一端部から放出される。出力ビームは光のコヒーレントレーザ信号および完全な非コヒーレント熱ソース信号の間の特徴を有する。特に、出力ビームは短い時間コヒーレンスを有するが、かなりの量の空間コヒーレンスを有する。上記で述べたように、A S E は既知されたレーザ光子の分散から来る自然放出と同じ順子のグループによって選択的に増幅される光放出の現象としてレーザ理論名によって特徴づけられる。利得は少なくとも1つの方向で順子を通して獲得すべきである。レーザ媒体が十分に大きければ（既知された順子の長い薄いリング）、これらの順子によって放射および増幅された信号は強い

強度、適度に方向性のあるおよび非常に短い時間コヒーレンスであることができる出力ビームを生ずることができる。出力放射が十分強くなると、既知エネルギーの主要部分が方向性の出力ビームに抽出されるように、材料媒体に合った正しい増幅を達成することができる。A S E の完全な説明はシグマン、ユニバーシティサイエンスプアックスの「レーザーズ」、ページ547-559にある。スーパー発光は、発光の高利得増幅器における既知効果にもかかわらず、より病的に発光ファイバに関連して、いくつかの利点を与える。これらの利点は、発光の好ましい実施例の非線形説明から承されるように、可能性の新しい領域を開く。

第1の実施例の説明

本発明の第1の好ましい実施例を示す第3図に参照がなされる。

ポンピング照射のソース100は多波長結合器104のファイバ102に結合されて、多波長結合器104のポートAでポンピング照射を与える。

結合器104は光学ファイバの2つのストランド、最上位ファイバ102および最下位ファイバ106を好ましくは備える。ソース100からのポンピング照射は、以下でより詳細に説明されるように、結合器104の結合動作によってポートBに伝送される。結合器104はソース100の波長において0%の結合効率を有するように実際に調整される。好ましくは、シリカドープされたファイバであるドープされたファイバ106は、概またはその他のファイバ構造手段110（たとえば完全結合または常閉状態）によって結合器104のポートBに結合される。照射信号はドープされたファイバ106内において増幅された自然放出を生ずるよう十分に強く、第3図の矢印によって示されるような順方向信号114および逆方向信号112を引き起こす。Nd:シリカドープされたファイバの場合に放出された信号は1060nmに集中する波長の範囲にあり、半導体（FWM）は一般に約17nmである。順方向信号114はドープされたファイバ106の1つ

の長を遡んだ後、順端120でトープされたファイバ108を出る。逆方向信号112はポートBで結合器104に送り出され、結合器104の結合動作によってポートCに伝送される。多波長結合器104は、1060nmでレーザングリッドの完全な結合を成るために、かつ800nmまたはポンピング照射に適する別の波長におけるポンピング光の波長で本質的にいかなる結合も与えないように、この説明で説明するために効率的に製造されている。ミラーまたは反射器118は、結合器104の最下位ファイバ106の端部に好ましくは設けられて拡張される。ミラー118は出力信号の波長で完全なまたはほぼ完全な反射を与えるように設計される。ミラー118は好ましくは誘電体材料の多重層で形成される減電体ミラーである。ミラー118はファイバ106の一方端部にゴールド・デポジットされる、または当該技術の周知の技術に従ってそこに設置される。さらに、ミラー118は逆方向信号112の反射がこの波長を要しないものが選択される。逆方向信号1

12はこうしてポートCに反映され、結合器104の同じ結合動作によって結合器104のポートBに再入力される。逆方向信号112はドープされたファイバ108の全体の長さを遡んで、その端部120から出る。もしGがドープされたファイバ108の進行の間に信号によって経路された回路であるなら、逆方向信号114はドープされたファイバ108から出るときに降減 α^2 によっておおよそ増幅され、逆方向信号112は2つの方向でドープされたファイバ108を遡むと降減 α^2 によって増幅されるのは明らかである。利用Gが高ければ、出力信号は主に逆方向信号112からなることは明らかである。このような度の合わせは合弁出力信号の強度を増大させるために非常に有利である。

反射性ドープされたファイバ108の一方端部の上に起こることは注意すべきことであり、共振レーザ発振を防ぎ、広帯域増幅された自然放出のための条件を得よう。

したがって本発明の光学システムは、ポンプソ

ースのドープされたファイバ108への放長共振結合によってスーパー懸光信号を発生するための便利な手段を提供し、結合器に結合されるファイバの一方端部に置かれるミラーによって逆方向レーザ信号の損失を防ぐ。10-15nmWのオーダーの典型的な出力は、Cワズシリカ9色ホーレーザで810nm近くでポンピングされる単一モードNd:SiO₂において約17nm(FWFM)の線幅で得られる。出力のほとんどは1060nm放出からなる。

第3図を再び参照すると、本発明の第1の実施例で採用される種々の光学コンポーネントは以下でより詳細に説明される。

ポンプソース100はファイバにおいてしたがってドープされたファイバにおいてポンプパワーの高い濃度を可能にするレーザダイオードであってもよい。使用されるポンピングソースのタイプにかかわらず、このシステムの好適性はソースからの放射の波長が、たとえば第2図で示されるNd:シリカドープされたファイバのようなドープ

されたファイバの吸収スペクトルにおけるピークと対応すると、認められる。エレクトロルミネセンスダイオードは、800nm範囲において光を放出するための適切なドープングで商業的に入手可能である。このようなダイオードのスペクトルは強制的Nd:シリカ材料の吸収スペクトルとよく整合する。たとえば商業的に入手可能なGa(A1)AsLEDは800nm領域において強い放射スペクトルを与える。類似して、レーザダイオード構造は商業的に入手可能であり、850nm範囲でエネルギーを放出する。さらに、ポンプ波長は全体のポンピング効率を最大化するために、Nd:シリカ材料の分光学によって可能な限り信号波長に近くあるべきである。本発明の好ましい実施例は850-855nmの範囲で放出するように、商業で簡単に利用可能なCワズシリカレーザ色素ポンプソースを使用する。光学ファイバに結合されるこのようなレーザソースはソースによって放出される光の波長が810nmの伝達を許すことができる。典型的に、このようなレーザポンプ

ソースのFWFMは約30nmである。

出窓を以て、ポンプソース光の波長はレーザング材料の吸収スペクトルにおけるピークに好ましく対応するのは明らかである。Ndの場合、このピークは804nmで選択される。しかし厳格的な考慮では、820nmのような近距離波長が受容可能である。シリカがドープされたファイバのホスト材料として使われると、Nd:SiO₂(900、1060nm)の2つの放出ラインのうち、よりによって反映される1060nmレイのみが大きな正味利得を有するのが観測される。900nmラインは却にファイバにおいて自己後置される。他のより弱い放射ラインも存在するかもしれないが、商業的シリコン放電型によって検出されるのは割すぎる。

本発明の装置に能われるドープされたファイバ108は簡単に商業的に入手可能である。活性レーザ材料でドープされたホストガラスから好ましくは製造されるコア、およびコアを囲むクラッピングを含む。

その好ましい実施例では、ドーパされたファイバ10は活性レーザ材料でドーパされたホストガラスから製造されたコアおよびそのコアを周囲にクラディングを含む。代替的に、クラディングは単一モード光伝送が活性材料に適用するように、コアに隣接した薄い層において活性のレーザ材料を含むことができる。好ましい活性材料はネオジムであるが、イッテルビウムおよびエルビウムを含む他の希土類材料も同様に適切である。ホストガラスのドーパントの濃度は、ポンプ光を吸収するためにまた特定の応用に必要な適度の長さからの光損失を避けるために便宜上長さに応じて決定される下限から、濃度クエンチングによって決定される上限に多様化することができる。一般に、0.1および3.0(重さによる)の間の濃度範囲が適切である。好ましいホストガラスはアルカリ、アルカリ土類酸塩を含むが、他のケイ酸塩、サルファニウム酸塩、リン酸塩およびいくつかのホウ酸塩ガラスも同様に適切である。コアの屈折率はクラディングよりも高いものが選択

されて、コアに入るポンプ光および活性材料によって放光された光はコアの中または付近に含まれるようにする。コアの直径“D”は特定の応用によって、幾分好ましく決定される、すなわち、光径100の光出力が導入される光ファイバの直径である。一般に、コアの直径は好ましくはポンプ光が特定の応用のために有効に結合されることができるに必要な最小のものであり、特定のポンプ光エネルギーレベルのエミットエリヤあたりの放出される放射エネルギーを最大化する。こうして、光径100が単一モード光ファイバまたは装置に光を与えるところでは、コアの直径は放光長で単一モード光伝送を行えるように選択される。単一モード伝送では、コアの直径はコアおよびクラディングの屈折率に依存し、1-2ミクロンまたは50ミクロンまでの範囲は、近赤外または光スペクトルの可視領域の放射に対する単一モード伝送を与えることができる。密にのら、コアの直径は特定の応用に対する最小のものよりも大きいことがある。たとえば、光径100

が4ミクロンのコア直径を有する単一モードドーパされたファイバに結合されるべきところでは、コアは結合を容易にするために、幾分より大きい直径、たとえば5ミクロンを有することができる。一般に、コアの円形断面に対して、コアサイズは $(\lambda/d)/NA \leq 2$ 、4以下にすることによって決定され、ここで d はコア直径、 λ は放射光の波長であり、 NA はコアおよびクラディングの屈折率 n_1 および n_2 に関する開口数であり、 NA は $(n_1^2 - n_2^2)^{1/2}$ に等しい。

本発明の好ましい実施例では、シリカまたはYAGはホスト材料として使用され、ネオジムまたはエルビウムがレーザング材料を構成する。好ましくはNd:シリカドーパされたファイバであるドーパされたファイバ10の直径は、先行技術の光学システムで使用されるNd:シリカロッドの直径と比較して非常に小さいかもしれない。たとえば、ファイバが100ミクロンの直径を有する光学システムが構成された。より小さい直径も可能であり、単一モードファイバの直径をアプロ

ーチする。単一クリスタルファイバレーザにおけるファイバおよびクリスタルの間の結合は、クリスタルの直径が縮じられ、屈折率が増大されると高くなるが、これはクリスタル直径が縮じられるとクリスタル内のソースからのポンピング照射の強度が増大するからである。

ドーパされたファイバの利点は無数にあり、その高い得率、優れた変換効率およびインクウェイス可能性を単一モードシリカファイバ、鋭い伝播損失およびコンパクト性に求める。ドーパされたファイバの特長より完全な考察は1969年7月15日にケスター (Kester) に発行された米国特許第3,456,211号にある。この特許はここに引用により適用される。

本発明の好ましい実施例で適用される多量体化合物は第2の光学増強剤を結合せずに第1の光学増強剤を選択的に結合する。本発明の好ましい実施例では、増大したファイバ共振器が使用される。前側反射鏡ター結合器または結合された光学結合器のような他のファイバマルチプレクサも適切

である。このような逆折的結合に必要な略かれたファイバ結合器および同じものを構成するための方法は、1975年12月3日に公開された米国特許第4,550,279号において開示され、ハーバート J. ショー (Herbert J. Shaw) およびマイケル J. P. ディゴネットを発明者としてリストし、本発明の譲受人に譲渡された。その特許はここに引用により取用される。

先学結合器の背景情報は、本発明の譲受人に譲渡された米国特許第4,550,279号および第4,674,830号にある。開示はここに引用により取用される。

略かれたクラディング多重化結合器およびその製造方法の主要特徴は前述の特許で見つけることができ、以下の態様にもとめることができる。

第1図は第4図になされ、これは略かれたクラディングマルチプレクサを示す。2つのカプラ半分210aおよび210bからなる結合器210は、ほぼ同じモードファイバのファイバオプティック材料の2つのストランド212aおよび

212bを含む、それぞれ長方形のベースまたはブロック216aおよび216bのそれぞれの光学的に平坦な対向表面214aおよび214bでそれぞれ形成される互の端縁213aおよび213bに接合される。

ストランド212a、212bの各々は中央コアおよび外側クラディングを有するためにドーピングされている光学ファイバを含む。ストランドは典型的にマイクロンのオーダーのコア直径を有し、クラディング直径は125マイクロンのオーダーである。

端縁の端213aおよび213bはファイバ212の直径と比較して非常に大きい曲率半径を有し、そこに接合されたときにファイバ212よりわずかに大きい幅を有して、端213の底部壁面によって規定される通路に収まる。端213aおよび213bの距離はそれぞれブロック216aおよび216bの中央の最小からブロック216aおよび216bの端縁の最大に規定する。これは有利的に、ファイバオプティックストランド21

2aおよび212bが端213aおよび213bにそれぞれ接合されると、中央に向かって次第に減衰し、およびブロック216a、216bの端縁に向かって逸れるのを可能にし、モード結合によってパワーの損失を引き起こさかもしれないファイバ212の方向における鋭い曲がりまたは突然の屈折をなくす。

ファイバオプティック材料はたとえは断くことによって各々のストランド212aおよび212bから束縛されて、それぞれに對向表面214a、214bと其面であるそれぞれのオパール面状端面218a、218bを形成する。こうして、略かれたファイバオプティック材料の端は0のブロック216の端縁から最大のブロック216の中央に増進する。このファイバオプティック材料のチープされた端面はファイバコアが徐々に屈曲および逸れるのを可能にし、これは逆方向反射および光エネルギーの逸散を低減するために有利である。

示された実施例では、カプラ半分210aおよび

210bは同一であり、ブロック216aおよび216bの對向表面214aおよび214bを置くことによって規定され、ストランド212aおよび212bの對向表面214aおよび214bは面する関係にある。

屈折率異性オイルのような屈折率不均質体（示されていない）は薄いフィルムで對向表面214の間に設けられる。

ストランド212の接合に用いる用端縁212が形成され、光はエバネセントフィールド結合によってストランドの間に伝送される。適切なエバネセントフィールド結合を確実にするため、ファイバ212から取除かれた材料の量はストランド212のコア部分の間のスペーシングが予め定められた「調整領域」内にあるように任意深く制御されなければならないことがわかっていて、エバネセントフィールドはクラディングに伝送してそれぞれのコアの外の距離を低減に減少する。ブロックまたはベース216は適切な剛性の材料で製造されることができ。

状態で、ポートDのパワーとポートCのパワーと
(以下省略)

ナストはエバネセント波の送かれた結合器が1
り0度までの結合効率を有することを示す。しか
し、これらの結合器はよりおおよそ最大の間の望まし
い値に結合効率を増強するように「調整」される
ことができるのも推測されている。このような調
整は、たとえばファイバをその長さに対して直角
をなす方向に相対的に傾に動かすことによって成
成することができる。ファイバの相対位置はその
オフセットによって規定することができる、す
なわち対向端面に沿って、その長さに対して直角
をなす方向で割られたファイバコアの中央軸の間の
距離である。こうして再び図4図を参照すると、
オーバーラップ面211が直置されると、オフセット
は0であり、オフセットはファイバ216がプロ
ット216を相対的に動かすことによって横方向
に分離されると増加する。

図4図に示された結合器210は非対称に方向性
があり、この結合器の一方側に与えられたパワ
ーのすべてが実質的に他方の側に伝えられる。この
結合器の方向性は、入力がポートAに与えられた

の比として規定される。さらに、この結合器の方
向性は、伝搬の所与のモードのために対称的であ
る。すなわち、この結合器は、そのどちらの側が
入力側であるか、かつ他方側であるかにかかわら
ず、同様の特性で動作する。さらに、結合器21
0は、非対称に既述スロット継ぎでこれらの結
果を達成する。

結合器210は、ストランド212の案内モー
ドはエバネセントフィールドを介して、光がスト
ランド212間で伝送されるように相互作用する。
エバネセントフィールド結合原理で動作する。先
に示されたように、この光の伝送は相互作用領域
232で生じる。伝送された光の量は、相互作用
領域232の実効長さだけでなく、コアの距離およ
び配向に依存する。下記により詳しく述べられる
ように、伝送された光の量は光の長さにもまた依
存する。次いで、相互作用領域232の実効長は
実質的にコアのスペーシングとは無関係であると
理解されているが、相互作用領域232の長さ
ファイバ232の曲率半径に依存する。しかしな

がら、「結合長」、すなわち、一方のファイバ2
12から他方のファイバ212への光信号の
単一のかつ完全な伝送に必要とされる相互作用領
域232内の長さは、縦長だけでなくコアのスペ
ーシングの関数である。しかし、もし相互作用領
域232の長さが増加され、またはコアのスペ
ーシングが減少されるならば、結合長は実効相互作用
領域よりも短いため、「オーバーカップリング
(overcoupling)」とここで述べられる現象が起
るであろう。このような状況のもとで、光は、最
初のストランドへと転送し戻されるであろう。相
互作用長がさらに増加されかつまたはコアのスペ
ーシングがさらに減少されると、実効相互作用
長は結合長に関連して増加し、かつ光の少なくと
もいくらかは他方のストランドへと転送し戻され
る。こうして、光は、領域232を介して進むと
き、2つのストランド212の間で多数回、転送
してもよく、このような転送の回数は、相互作用
領域232の長さ、と、光差長(下記に述べられる)
とコアのスペーシングとに依存する。

ファイバ結合器の結合長は、典型的に上述の単一モードファイバであり、上述に示された前述の特徴で詳しく述べられたように、信号波長への強い依存性を示すので、適切に選ばれたジオメトリのパラメータ、結合器210は、第2の信号波長が本質的に結合されないままである一方、1つの信号波長を完全に結合することができる。この現象により、結合器210の2つの側にあるポートへ供給された2つの信号が分離することができる。こうして、第4図に示されるように、波長 λ_1 を有するポンピング信号が結合器210のポートAに供給され、かつ波長 λ_2 を有するスーパー帯信号がポートBに結合され、かつそのジオメトリが適切に選択されるならば、ポンピング信号がポートAからポートBへの結合を誘導されることはない一方で、スーパー帯信号はポートBからポートCへと完全に結合されるように、両方の信号が分離される。

この現象依存性を説明するために、第5図は、特定の結合器ジオメトリのための可視および近視

の外部スペクトルにおいて、結合されたパワー対信号波長のプロットを提供する。この結合器構成のため、結合器の実効相互作用長は、選択された波長720 nmに対して結合長の奇数倍であるが、しかし選択された波長550 nmに対して結合長の偶数倍であるため、波長720 nmは100%結合され、波長550 nmは実効的に結合されないであろう。異なる動作で、異なる波長が組合わされてもよいし、または分離されてもよい。たとえば、550 nmおよび650 nmは50%の効率で分離されてもよく、または組合わされてもよい。

実効相互作用長が一方の波長に対して結合長の偶数倍であり、かつ幾何学的波長に対して結合長の奇数倍である限り、実質的にいかなる波長対 (λ_1, λ_2) も効率的に組合わされてもよく、または分離されてもよい。実効相互作用長内の結合長の数が増加するにつれて、マルチプレクサの分解能が、ファイバ212a、212bの曲率半径を増加させることによって向上される。結合長の相

相互作用長が十分に大きいならば、それらの波長がどのくらい密に間隔づけられているかどうかにほぼ無関係に、実質的にいかなる2つの信号も正確に組合わされてもよく、または分離されてもよい。

Rがストランド212の曲率半径である場合、相互作用長は波長の関数であり、かつ分解能は $(R)^{-1/2}$ とほぼ比例している。Rが増加すると、実効相互作用長が増加し、かつ結合長のきまりの精度になり、分解能を改善する。この結果は第6図に示されており、それは、曲率半径が200センチメートルにまで増加されたことを除けば、第5図のグラフと比較し得る。予測されたように、この半径の増加は、結合器の分解能を、第5図の25センチメートル半径の例における、およそ170 nmから、200 nmセンチメートルの場合における、およそ60 nmへと $\lambda = 600$ nm近くまで改善する。

多重化結合器の分解能は、2つの側面のパラメータ、すなわち、H（ファイバスペーシング）およびR（ファイバの曲率半径）に依存する。所与

の1側の信号波長のため、まず、興味ある波長に対して大きな波長依存性をもたらす結合器に対しファイバスペーシングHを適切に選択し（Hの選択）、次いで、波長間の数と等しい分解能を生じる曲率半径を選択する（Rの選択）ことによって、効率的な組合が達成され得るであろう。

分離されるべき波長に従って結合器の分解能が決定された後、実効相互作用長が一方の波長の結合長の偶数倍であり、かつ他方の波長の結合長の奇数倍であるように、結合器は、興味ある波長に対する結合長を正確に調整するように調整されてもよい。これは、ファイバ212a、212bの軸と垂直な方向に、互いにブロック216a、216b（第4図）を移動させることによってファイバをオフセットすることにより達成される。このようなオフセットは、単小ファイバスペーシングHを増加させ、かつファイバの実効曲率半径を増加させる効果を生ずる。もし所与のオフセットが十分に小さいならば、それはマルチプレクサの分解能を向上であろう。これは、大半径の結合器

の分離度が、ファイバオプセットによる実効曲率半径の変化と比較して、ファイバオプセットにより適宜に変化するという事実に由来する。

この多重化結合器の調音可能性を示すため、第7図は、ファイバオプセットの3つの増加値(0ミクロン、0.5ミクロンおよび1.0ミクロン)に対して、相互結合パワー対波長のプロットを提供する。その曲線は、定数(または分解能)の割合が実質的に成らないままである一方、オプセットが増加するにつれて波長を増加させる方向に移動するように見られる。この特定の例($R=2.0\text{ cm}$, $N=4\text{ ミクロン}$)の場合、1ミクロンオプセットはおよそ45nmだけその曲線を移動させる。

8.20nmで放出するレーザ源および1060nmで放出する、スーパー蛍光のドープされたファイバを用いるこの発明の好ましい実施例では、0.8ミクロンと1.6ミクロン間の波長に対して大きな波長依存性を選択するようにファイバスペルティングRを適切に選択し、かつ次いで1.06ミ

クロンと0.8ミクロンまたは0.26ミクロンとの間の値に等しい分解能を生じるファイバのための曲率半径を選択することによって、選択結合が上述の技術に於いて達成される。結合器の分解能がこのような態様で調整された後、前述のように、結合器は、実効相互作用長がこの波長列の1つに対して結合長の数倍であり、かつ残余の波長に対して結合長の数倍であるように、結合長を0.8ミクロンおよび1.06ミクロンの波長に調整するように調整されてよい。

第3図に示された実施例において、ドープされたファイバの出力をファイバ106に結合させることが望まれるので、結合器のための実効相互作用長は、ドープされたファイバの波長の結合長の倍数、1.06ミクロンになるように、かつソース光増強の割合、0.8ミクロンになるように調整されなければならない。これにより、ファイバ102からファイバ106へと伝送されるべきソース照射信号の本質的な結合がない状態で、ドープされたファイバから来るレーザ光の、フ

ァイバ102からファイバ106への完全な結合を生じるであろう。もちろん、この場合の結合のない状態は、両波長の完全結合を意味し、そのため、たとえば、相互作用領域232における実効相互作用長が1.6ミクロンの結合長の2倍であるならば、レーザ出力は完全に2割、すなわち1割はファイバ102からファイバ106へと、残りで2割目はファイバ106からファイバ102へと結合するのであるということが理解されるであろう。この説明を具体化する上で適切な結合器が実験的に用いられたが、しかし、他の結合器が使用されることが当業者に明かである。1つの適切な可能な結合器の2つのブロックの断面で示された低反射率光学オイルは熱膨張しやすいが、適切な可能な結合器は容易に「調整される」ことができるという限りにおいて有利である。多くの応用では、常態結合器が過度にあまり感度的でないため適切な結合器に好ましいであろう。

再び第3図を参照して、もし信号が最下位のファイバ106に存在するならば、この発明の光学

系は、斜断面の断面特許第4,674,830号に開示された教示に従って、増幅器として動作されてよい。増幅されるべき信号は、1.064ミクロンのレーザ増強波、すなわち、上方と下方のレーザ増強レベル間の波長の間、ノドイオンによって放出された光の波長における波長を得るよう選択される。増幅される信号が最下位のファイバ106に挿入された結合部104によって、ドープされたファイバ106に接続されるとき、それは、その信号とコヒーレントな、信号と同じ増強波で刺激されたフォトン放出をトリガーし、かつそれによって増幅されるであろう。こうして、この増強波における光の信号は、増幅されるべき光信号と増強波とで、第10図と第11図に示されるように上方レーザ増強レベルと下方レーザ増強レベル間のフォトン放出増強を引き起こすであろうし、入力光信号のための実効増強を生じるであろう。この発明の光学系はこのように増幅器として機能する。この特徴の構成では、最下位ファイバ106の端部には反射層は設置さ

けられていない。増幅信号はドープされたファイバ108の端部120で出力される。

ここで、第3図の説明と関連して開示されたように、スーパー光経路のための、出力パワーに対する、限られたポンプパワーのグラフを示す第10図を参照する。ファイバ出力は本質的に線形されない。10mW出力パワーで、変換効率は、非線形損失が、吸収されたポンプパワーと12dBの1060nmの信号間である状態で、45%である。低いポンプパワーのため、追加の自然減衰に起因して出力パワーはポンプパワーと線形的に増加する。削減された減衰が大きくなるにつれて、Cが波長の全長に渡って通んだ結果によって経験された損失中央波長である場合、出力は本質的に $\propto P^2$ として非線形に増加する。ファイバ106の一端部にミラー118を配置すると、増幅率が実効的に2倍され、かついかなる飽和効果をも除くと、利得が2倍される。ここで出力が $\propto P^3$ として増加すると、これは非常に大きな効果であることが認識されなければならない。ミラー

118が取除かれると、出力パワーは80mWの吸収されたポンプに対して約3000Wまで増大する。

ここで、第9図を参照すると、この図では、出力スペクトルのピークで、より大きな増幅によって、予測された線幅がどれくらい漸近的に狭くなり、かつmW範囲で出力パワーに比例し160nmではほぼ一定になるのが示されている。第9図では、ポンプ波長は825nmになるように選択されている。第10図は、825nmのポンプ波長に対して4.8mWの全パワーでの1060nm線の典型的な出力スペクトルを示す。

第11a図、第11b図および第11c図を参照すると、1%Ndドープされた、YAGスーパー光ドープされたファイバを適用したこの発明の打込み型光増幅の長さに従った、期待ファクタおよび全量出力パワーの線幅が示されている。Cが線中央でのシミュレートされた断面であり、Cが材料の蛍光寿命であり、かつnがドープされたファイバのコアの屈折率である場合、材料バ

ラメータは、 $\sigma_s = 3.2 \times 10^{-19} \text{ cm}^2$ 、 $\sigma_e = 2.3 \times 10^{-19} \text{ cm}^2$ 、および $n_1 = 1.52$ のようになる。ポンプ波長は $\lambda_p = 810 \text{ nm}$ と設定され、かつ材料吸収係数 α はおよそ 4 cm^{-1} とされる。第11a図は、低いポンプパワーレベルで、自発放射が支配し、かつ増幅方向および逆方向増幅 P^+ および P^- がほぼ線形に構成されているのを示している。利得ファクタは本質的に不飽和状態であり、かつポンプ増幅の結果、左（入力側）から右へと指数関数的に崩壊する。高ポンプパワー（第11b図）で、削減された減衰が支配的であり、かつ増幅パワーが指数関数的に大きくなる。十分に高いポンプパワーで、優先は、利得ファクタが反転分布ディプレッション(depletion)（第11c図）によって大幅に減少された。ファイバの入力および出力増幅に近い、非常に大きなレベルにまで成長する。利得ファクタは、順方向は P^+ のパワーと逆方向は P^- のパワーとの和である全量出力パワーが最小である、ファイバの中央近くで急激な最大を示す。

図2の光増幅の説明

この発明で達成された結果は、ポンピング距離減衰までの結合効率が100%であり、レーザ出力波長までの結合効率が90%である結合器を適用して実現されてもよいことが理解されるであろう。

第12図は、このような実施例の図示である。この実施例では、ポンプ源およびミラー1、第9図と関連して上述で述べられた第1の実施例と類似して、結合器に結合される。第12図は第3図と関連して述べられた同様のエレメントを含んでいるので、第3図に使用された同様の符号が、同じエレメントを指すのに第12図に用いられるであろう。しかしながら、第12図の多重化結合器は、第3図の結合器104と異なった特徴を有しており、かつ図304で表わされるであろう。したがって、ポンプ源100はファイバ102を介して多重化結合器304のポートAでポンピング照射を与え、一方、ミラー118はポートCでファイバ106の一端部に結合される。ドープされたファイバ108は、第3図の説明と関連して

述べられた態様でポートDで結合される。ドープされたファイバ108は、好ましくは、波長110 nmによって光ファイバに結合され、または、その光ファイバ106に単に接続されてもよい。ポートBは好ましくは結合されないままである。

この実施例では、結合器304は、ポンピング源の波長で100%の結合効率、およびドープされたファイバ108によって放出された光信号の波長で0%の結合効率を実質的に有するように調整される。

ポンピング波長100 nmからの光は、まずファイバ102を通過して伝送され、ポートAからポートDへと、ドープされたファイバ108に結合される。ドープされたファイバは、好ましくはNd:シリカファイバであり、第12図の欠陥112および114によって示されたように逆方向および前方の両方向にスーパー放光信号を放出する。前方向き114が、結合されないまま、ドープされたファイバ108の出力端120に出力される。しかしながら、逆方向信号112はポートDで結

合器304に注入し戻される。かつ結合器304の結合機能によって倒型同結合された後、ファイバ106に伝送される。したがって、逆方向信号112はポートDからポートCへと伝送され、かつミラー118に反射された光ファイバ106に注入される。したがって、注方向出力112は、ミラー118の作用により結合器304に反射し戻され、かつ結合器304のポートDに伝送される。ミラーでの反射の後、逆方向信号112は最終的に、ドープされたファイバ108の出力端120に出力される。

第1および第2の実施例の動作モード

ここで示された実施例は共に同様の原理に従って機能することが、当業者によって理解されるであろう。先行技術に於ける1つの至る所利点は、ポンピング照射が、先行技術でこれまでに実行されたようにミラーを調節することなく、ドープされたファイバに直接に送り出されるという事実にある。この発明の実施例では、光ファイバ102に注入されたポンピング照射は、引き続き、結合部10

4(304)の結合機能によって、選択された実施例に依存してポートBまたはポートDに結合される。ポンピング信号は、決して戻った光ファイバ106およびミラー118に伝送されることはない。この発明では、ポンピング結合率が実質的に増加することが顕著に明らかであろう。これは、ポンピングが、ドープされたファイバでスーパー放光を生ずる際に重要であるので、特に有利である。

スーパー放光信号を反射させるようにミラー118を使用することによって、ファイバの全長が大幅に増大され、かつポンピング源のパワーが減少される。特定の例によって、約0.3 dB/mWの損失を有するドープされたファイバのため、およそ0.7 mWの出力のレーザ源は典型的に、9 dBの全長利得を得るのに必要である。この発明の装置では、3.0-3.5 mWのレーザ源が0 dBの同じ利得を得るのに十分であるので、反射器118によるポンピング信号の2重増路によって、2のファクタだけ必要のソースパワーが

大幅に減少される。この発明の上述の実施例はまた、ミラーの動作に不可欠な必要条件だけでなく結合方法をも大幅に簡便にする。この発明の装置では、ミラーは好ましくは高反射鏡であり、かつその多波長特性のような過の基準に際して選択される必要はない。さらに、この発明の好ましい実施例では、ポンピング源は、ドープされたファイバに送り出される際にミラーを調節する必要はない。したがって、結合効率を改善するために様々な結合方法が考えられ得る。これは、結合効率が一般的に低いレーザダイオードのようなポンピング源に特にあてはまる。この発明の好ましい実施例では、レーザダイオードのようなポンピング源でさえも、このような効率が大いに改善される。したがって、当業者が公知の結合技術がこの発明の装置に適用され得る。これらの結合技術は、とりわけ、ポートAでのファイバの端部をテーパーすることを含む。テーパーされたファイバは、一般に、ソースまたは比較的大きな断面のファイバから、より小さな断面のファイバへ光を伝送するのに利用される。そ

の一方端が他方端よりも大きな断面を有するようなファイバを引くことによって、先端から放射された光を光ファイバに効率的に結合することができ、ファイバの端面上の微分マイクロレンズもまた有利に使用される。それらの結合技術はまた、システムの高波長の安定性を改善しかつその性能を一時的にさらに改善することが必要ならば、公開である。チヤパットのファイバの徹底した論議が、アラン・シュナイダー (Allan Snyder) およびジョン・ラブ (John Love) による「光導波路理論」(Optical Waveguide Theory)、チャップマンおよびホル (Chapman and Hill) 133、ロンドン市、英国、1977(-1978)に見出され得る。

この発明では、モード結合もまた最適化され、かつレンズのような規則的な光成分よりも実質的に優れている。ドーブされたファイバに連続的にファイバを接続することによって、この発明に従ってこのように得られた装置は、非常に簡便に高く、コンパクトで、たとえば、産業の間に故障しにく

くまたは信頼も受けにくい。この発明の上述の実施例によって提供された先行技術に勝る他の実質的な進展は、ソース信号とレーザ信号との分離を可能にするという点に有利な設計にある。先行技術の装置では、ソース信号とレーザ出力は共に同じ光導波路に流れて進む。好ましくは、レーザ光はポンプ源に流れる、またはポンピング源の空欄に向かつて伝送する信号のような結合光系系は、信号経路上のフィードバックを作り出すこともない。この発明の好ましい実施例では、結合器を介する100%の伝送(第3図に示された第1の実施例)または結合器を介した91%の伝送(第2図に示された第2の実施例)の後、出力レーザは結合器を介してミラーに結合される。したがって、レーザ信号はポンプ源の空欄または結合光系系を「見る」ことはなく、その結果、ポンプ源から現われる信号経路へのフィードバックの減少をもたらす。これは、不所望の増幅特性を排除からレーザ信号スペクトルを開張するように維持しなかった、先行技術の装置に勝るこの発明の

質的な利点である。こうして、結合器は、レーザ出力信号がポンプ源の空欄に伝送し戻されるを妨げることによってアイソレータとして作用する。

この発明の他の重要な利点は、結合器によって放出されたフィルタ効果に起因して、スーパーバンド光線の蓄積依存性の実質的な改善によるものである。

第3図および第12図にそれぞれ示された好ましい実施例の結合器104または304は、少なくとも2つの直交な機能で有利に動作する。これらの信号の増幅に資して、それは、まず、それを介して伝送する信号に特定の経路を提供する限り、マルチプレクサとして作用する。この多重化機能は、第3図および第12図の説明と関連して上記で述べられてきた。さらに、この発明で使用された結合器は、温度変化に対して、ドーブされたファイバ108によって放出されたスーパーバンド光線を安定化するのに有利に使用される。

結合器は、典型的に、結合器の構造上の形状に依存するフィルタ機能によって特徴づけられる。

結合器パワー対信号増幅を要するいくつかのフィルタ機構が、第5図、第6図および第7図と関連して上記で述べられた。結合器のフィルタ機能によって達成された高波長の安定性および結合器の温度依存性をよりよく理解するために、ここで、所与の結合器性能の温度依存性を示す図である第13図を参照する。縦軸としての結合器を介して伝送されたパワーおよび横軸としての波長を使用する第13図に、結合器温度依存性曲線がプロットされる。理論的な計算および実験データが、温度の増加が、より長い波長の方で曲線400によって覆われたフィルタ機能を、第13図の左側に変換し、それによってより高い温度のための新しい曲線400を生じること示している。理論的な計算はまた、第13図の右側に400の水平直線が結合器の半値全幅(FWHM)と実質的に無関係であることを示す。全ガラスファイバ光結合器のためのフィルタ機能の温度依存性を述べたため、次の式が提議された。

$$\frac{\Delta \lambda}{\Delta T} = -\alpha \cdot \Delta T \cdot (n + \rho) \quad (1)$$

ここで、 λ は中心波長のまわりのフィルタ機能の波長を示し、 T は絶対温度を示し、 α は膨張係数を示し、かつは結合部の熱光学係数を示す。それらの理論計算の詳細は、G. ヘルツ (G. Helze) 等による「クロストーク光ファイバ温度センサ」(「Cross-Talk Fiber-Optic Temperature Sensor」)と題された「応用光学」(Applied Optics) 第22巻、第3号、1983年2月1日に記載の論文に見出され得る。この論文はここで参照として用いられる。

係数 $(n + \rho)$ は、ガラス型から単独立っており、かつ全ガラス結合器に於いて $10^{-10}/\text{℃}$ のオーダーの値を有している。こうして、典型的に、 $1/\lambda \times 10^{-6} \lambda \times \rho / \alpha T$ の値は、全ガラス結合器に於いて約 $10^{-10} \text{ p.p.m./℃}$ である。しかしながら、液体域が、結合されたファイバのコアによって形成された界面で挿入される、潤滑可能なファイバ結合部では、結合部の熱光学係数値より高い、約 1000 p.p.m./℃ のオーダーの温度依存性を持つファイバ結合部では一般的でないことは

って典型的に表わされ、かつ伝送されたパワーの半値でのフィルタ機能の線幅である。 $\Delta \lambda$ は第13a図に示されている。

一方、ファイバ部によって放出されたスーパー放射波長の波長もまた温度に依存する。其振および非共振部を含むすべてのファイバ部が、係数 $\rho / \alpha T$ によって特徴づけられた温度に晒されてそれらの放射波長の固有線幅依存性を示すが当該波長によって認識されるであろう。この発明に従ったスーパー放射ファイバ線の放射スペクトルの温度依存性を示す第13b図をここで参照する。第13b図では、放射スペクトルが曲線412によって表わされる。温度は、曲線412を生じるようにこのスペクトルを共振に変換することによってこのスペクトルに影響を与える。典型的に、ファイバ線の温度依存性は1℃につき約 $\text{p.p.m.} (10^{-10} \text{ p.p.m./℃})$ のオーダーである。

ファイバ線の半値全幅 (FWHM)、 $\Delta \lambda_{1/2}$ は、典型的にサブナノメートルから数10ナノメートルへと変化してもよい。しかしながら、ファイバ

ない。新穎可能な態に於いた結合部の温度依存のまわりに詳細な説明が、マイケル・ディゴネット (Michael Digeonnet) 等による「同調可能な単一モード光ファイバ結合器の分析」(「Analysis of a Tunable Single-Mode Optical Fiber Coupler」) FLEET JOURNAL OF QUANTUM ELECTRONICS (IEEE Journal of Quantum Electronics)、第QE-15巻、第4号、1982年4月、746頁-754頁、および、ディゴネット (M. Digeonnet) 等による「単一モードファイバ結合器における多波長化波長」(「Wave-length Multiplexing in Single-Mode Fiber Couplers」)、応用光学 (Applied Optics) 第22巻、第3号、1983年2月1日、484頁-491頁に見出され得る。

結合部のフィルタ線幅に關すると、それは、選択されたファイバおよびファイバの曲率半径に依り、数 μm (幾何学フィルタ) から数100ナノメートル (200 nm またはその程度) へと変化してもよい。半値全幅 (FWHM) は $\Delta \lambda_{1/2}$ によ

いロスコープを含むほとんどの光学応用では、20-30 nm のオーダーの FWHM が好ましくは望ましいに用いられる。

この発明の利益の1つは、放射スペクトルの温度ドリフトを少なくとも部分的に解消するように、選択された温度依存特性を有する結合器を有利に使用することである。第13b図は、ファイバ線の放射スペクトルが、温度が上昇するに従ってより高い波長へと変換され、同時に、同じ温度上昇が、より低い波長へと結合部の多波長化を移動させることを示している。

所与のスペクトルを有する波によって放出された光が、所与のフィルタ機能を有する結合器によってフィルタ処理されると、フィルタ処理された光の強度は単に、スペクトル関数 (function) と、特定の波長に対するフィルタ関数 (function) との積である。フィルタ処理された光のスペクトルは、したがって、次の方程式によって与えられる。P フィルタ処理 (1)

$$= P_{\text{線}}(\lambda) \cdot P_{\text{結合器}}(\lambda) \quad (2)$$

が結合型フィルタ回路の目的近くで下がるように選択されているので小さい。パルカ光フィルタ回路のシフトはそれゆえ結果として生じたフィルタ伝達にわずかな影響しか及ぼさない。

第1表および第2表に示される結果は、屈折率が多層化結合器によって自動的に結合されるとき、屈折率依存性において正味の改良があることを明確に示す。フィルタの正味の効果はそれゆえ約90 dBのファクタで温度によって引き起こされる平均スペクトル波長の变化を減少させることである。レーザ発振の温度依存性における改良は、より大きな温度依存性を有する結合器の場合(第2表)においてもまた、かつ90 dBのオーダーにおいてもまた容易に熟知できる。

上に述べられた理論上の計算において、値 $\delta\lambda_f$ は所与の特定の温度変化に対する平均スペクトル波長 λ_f を最小化するように計算されている。屈折率の温度依存性における正味の改良はそれゆえ $\delta\lambda_f$ のために述べられた道に依存する。さらに計算すると、 $\delta\lambda_f$ がその波長値に正比例に線型さ

れないときこの改良の割合は減少することが示される。改良が $\delta\lambda_f$ のために選択された道に因してどのように変化するかを示す第14図をここで参照する。 $\delta\lambda_f/\delta T$ の比(波長)は横軸に示され、dBで表わした改良 $\delta\lambda_f/\delta T$ は横軸に示される。当座言には、屈折率依存性における改良が、 $\delta\lambda_f$ の値がその波長値の1%以内で選択される限り十分な状態のままである(10 dBより大きい)ことが理解されるであろう。この発明の装置における結合器を用いた結合器の温度依存性をその波長値の10%内で適切に選択することによって、ファイバ束の温度依存性を10-20 ppm/°Cから1-2 ppm/°Cにまたはそれより良い値に減らすことが可能である。上の理論上の計算は結合器の温度依存性が線形であると仮定した。結合器の非線形性を考慮しつつ、 $\delta\lambda_f/\delta T$ の選択と λ_f (T)の非線形性による引き寄せられた効果によって値 $\delta\lambda_f$ がしとの値 $\delta\lambda_f$ (屈折率)のわずか3%以内になると仮定すると、第14図は3%のファクタの改良がこの発明の装置

によっても得られることを明らかに示す。屈折率の温度依存性における改良はこの発明のたいの異なる光学的な応用、特にファイバロスコープにおいて得られる。

結合器のフィルタ効果の効果は、波長幅の少なくとも1つの成分が結合器を2度折る限り、上に述べた実施例において高められる。このような場合、フィルタ処理された光の強度は源および所与の波長に対するフィルタ係数の2乗によって出されたフィルタ処理されていない光の強度の順に等しい。これは次の式によって最もよく表わされる。

$$P_{\text{transmitted}} = P^2_{\text{reflected}} \quad (4)$$

この発明の装置はそれゆえ、先行技術においてよく認識された多くの限界を回避するので先行技術に比して非常に有利である。結合器の温度依存性がスペクトルの反対方向に変化するように結合器を適切に選択することによって、温度によって処理されたスペクトルの平均的な波長のシフ

トを効率的に減らすことが可能である。もし結合器の温度依存性が適切に選択されるなら90 dBという高い正味の改良が得られる。しかしながらもし $\delta\lambda_f/\delta T$ の値がその波長値の10%内で選択されるなら、屈折率依存性における改良は十分な状態のままである(10 dBのオーダー)。 $\delta\lambda_f/\delta T$ の値がその波長値の30%内で選択されるとき利得はまだ容易に熟知し得る(約3)。 $\delta\lambda_f/\delta T$ の値は現在知られる先行技術に十分に適合する。

スーパーマルチファイバ線以外の他の線に及んで、上記の結果は有効なままであることにも注意しなければならぬ。特に、共振器やファイバレーザの出力の温度依存性もまた多層化結合器を用いた $\delta\lambda_f/\delta T$ の値を適切に選択することによって大幅に減少される。上記の結果はより狭い帯域のファイバレーザ線にも適用できることが理解されなければならない。

ここで、源FWMHに対するフィルタFWMHの比に関して、安定性および伝達されたパワーの

依存性を表す第15図を参照する。このグラフにおいて、直線はこの比によって表わされる。最も左の直線には、スーパー光束出力信号の安定性が示され、最も右の直線はスーパー光束信号の伝達された出力パワーを示す。フィルタを選択するに際して図示した尺度をよりよく理解するために、その特性が第15図に表わされたフィルタは直線に閉して無限に安定であると仮定される。出力周波数の安定性の増大は直線では、不安定な直線（たとえばローレンツ線）に対する、固定された安定なフィルタ間数（たとえば600）の間数）のための平均線長の安定性である。直線600が安定していることは、フィルタFWMが所与の直線FWMに対して減少するとき、出力信号の安定性が増すことを明確に示す。より狭いフィルタ（小さなFWM）によってフィルタ処理された出力スペクトルはそれゆえ、より広いフィルタ（大きなFWM）によってフィルタ処理された出力スペクトルよりも適度依存性が小さい。しかしながら、狭いフィルタの処理能力に対するこの安定性の増

加に対する割合は、直線600によって示されるように、結晶器を介して伝達されるパワーが少ないことである。要するにははたかに、フィルタ処理の範囲が狭ければ狭いほど、より少ない範囲が伝達されかつそれゆえより少ないパワーが結晶器を介して送られるということが出現されるであろう。

結合型パラメータを適切に選択することによって、結晶器の適度依存性をかなり減少させる結合型フィルタ構造を得ることが可能である。このフィルタ間数はしかしながら十分に過渡的であるので、出力光の強度はこの光が利用されるべき様々な応用に對して十分に低い。第FWMに對するフィルタFWMの比のための値0.20はグラフ上に示される上の条件を最善の状態にするようである。この値は2つの直線600および602の交差点に對する。

この発明の好ましい実施例に関連して述べられた先元素の形態はそれゆえ、この発明のスーパー光束光源によって示された出力光が、先行技

術のいかなるスーパー光束の光より適度依存性が小さいようにされている限り非常に有利である。

Ndドープされたファイバを用いたこの発明のスーパー光束源において達成される利得はNdドープされたファイバ内の反転されたネオジミオン地層の高度に依存する。利得信号の増幅上の計算は、利得ファクタが信号パスに對して15dBのオーダーでかなり大きくなり得ることを示す。15dBの利得は、レーザードを伝達する信号はおおよそ31.5のファクタで増幅を受けることを暗示する。

ここで図が第3図および第12図を参照して、順方向信号114の増幅は明らかに逆方向信号112の増幅と異なる。順方向信号114はドープされたファイバ108の出力（最も右のドープされたファイバ端120）に向かって出されかつそのファクタで増幅を受ける。順方向信号はそれゆえ以下の式で表わされ得るドープされたファイバの出力に對してパワーP'を有する。

$$P' = P_0 \cdot \{e^{g' L} - 1\} \quad (5)$$

ここでP₀はドープされたファイバ108に送り出された信号の初期パワーであり、または全長でありかつファクタ1はスーパー光束を誘起するために必要なパワーの損失を表わす。

逆方向信号112は2度増幅を受け、切込に結合器104または304に向かう、ドープされたファイバ108を出し、2番目に、ドープされたファイバ108を再結晶し最終的にそれを出力する。簡単な理論上の計算は出力における逆方向信号114のパワーP'が以下の式で表わされることを示す。

$$P' = P_0 \cdot \{e^{2g' L} - 1\} \quad (6)$$

反折器118上の反射はそれゆえ逆方向信号112の増幅が順方向信号114の増幅よりはるかに優れることを許容する。順方向信号112は特に全出力の小さな部分を表わす。しかしながら、結合器のフィルタ機能は順方向信号114には適用しないことが思い起こされる。順方向信号114は実際、いかなる光子源によってもフィルタ処理されることなく、ドープされたファイバを直ちに

出す。もし利得量が十分に大きいなら、順方向信号114は出力の無視できるほどの部分でありかつそれゆえフィルタ処理されない順方向信号114の温度依存性は全出力信号に実質的な影響を持たない。

利得が減少する場合は、順方向信号の寄与は重要でありかつその結果、フィルタ処理されない順方向信号114の温度依存性は全出力信号の温度依存性(fusion)に影響を与えるかもしれない。

この問題を避けるために、順方向信号および逆方向信号の両方を結合器によってフィルタ処理する、この発明の他の実施例が考察された。

第3および第4実施例の説明

第16図はこの発明の第3実施例の概略図を示す。第1および第2実施例を示す第3図および第12図に関連して説明したのと同じ光成分がこの第3実施例において用いられる。このシステムはそれゆえポンプ減110、2つの光ファイバ102および106、ドープされたファイバ108、ミラー118および結合器104を含む。ミラー

118はドープされたファイバ108の一方の端120に置かれるが、ファイバの他方の端116はそのままはスプリイズ110によって光ファイバ102に結合されかつさらに結合器104に結合される。

第3実施例における全体システムは以下の態様で機能する。結合器104が導波長で信号に結合しないように選択されているので、ポンプ減信号はポンプ減110によって出される光ファイバ102に伝送される。上に述べられた条件において、ドープされたファイバ108スーパー励光は2つの成分である、第16図の矢印によって示される順方向信号114および逆方向信号112を生じる。結合器104はレーザ増設波で100%信号を結合するように選択されているので、順方向信号114（図中の矢印に向かって方向づけられた）は結合器104を透過し、光ファイバ106に結合される。出力信号は光ファイバ106上で検められる。

逆方向信号112はミラー118によって反射

され、順方向信号114と同じ方法で光ファイバ106に出力される。しかしながら、順方向および逆方向信号の両方は結合器によって1度フィルタ処理されることが理解されるであろう。結合器のフィルタ特性はそれによって上に説明した理由から、全出力信号の温度依存性を減少させる。それゆえ、改良された温度安定性は第16図に示された装置から生じる。この発明の第3実施例における出力信号の正確なフィルタ特性は第3図および第12図に示される第1の2つの実施例におけるフィルタ特性とは異なることが明らかである。第16図のシステムにおける全出力信号はたしかに1度フィルタ処理されるが、第1および第2実施例においては逆方向成分に単独で2度フィルタ処理されかつ順方向成分はフィルタ処理されないままである。第1の2つの実施例に関連して述べられたすべての利点はこの第3実施例にも適用する。

第12図に関連して説明した結合装置に対応する他の実施例もまた考えることが可能である。第

17図に示されたこの第4実施例において結合器304の特性は、結合器が完全にポンプ減信号波長を結合しかつ本質的にはレーザ信号波長を結合しないように選択される。ドープされたファイバ108およびミラー118はそれゆえ結合器304のポートDに結合される。ポンプ減信号は結合器304を介して、ドープされたファイバ108にすべて結合される。出されたレーザ信号は順方向および逆方向成分は本質的に結合されずかつ光ファイバ106に伝送される。前の実施例に固有のすべての利点はやはり有効である（特に温度依存性）。

第3変換例の説明

ファイバのジャイロスコープのようなループを挿入したオールファイバ装置を用いた第3実施例もまたこの発明の精神の範囲内で達成可能である。

オールファイバ装置は先行技術において知られている。特に、オールファイバ装置を用いたM.D.ドープされた60ファイバレーザが、

1977年6月1日付「応用光学」(“Applied Optics”)の26巻No. 11のJ. D. ミラー(J. D. Miller)その他による「オールファイバ発振器を用いたNd³⁺ドープされたcwファイバレーザ」(“A Nd³⁺-doped cw fiber laser using all-fiber reflectors”)と題された論文のページ2197から2201に開示されている。この論文はここに引用により援用される。ファイバ発振器は方向性結合器の出力をループバックすることによって作られる。不透明オールファイバレーザは表面的な誘電体または金属反射器とは異なる特性を有する。結合器に付随する光はフィールドの2つの部分が結合器のまわりを反対方向に回るようには分けられる。結合器をきわめて結合する光はπ/2位相ラグを受ける。

オールファイバ発振器によって与えられる利点を十分に理解するために、オールファイバレーザの略図である図18図を参照する。図9および図12図に照して説明したエレメントは同じ番号によって示される。この図解において、

φは伝播定数であり、

γはループの全長であり、かつ

γは逆数値ベスである。

反射した信号は2つの相対する方向の成分の重ね合わせからなり、その各々は回路の間に1度結合器の端面を経験する。反射した信号のための、入力フィールドに対する出力の比は、

$$jR = (E_{\text{ref}} / E_{\text{in}}) = 2\gamma \frac{1}{1 + (1-K)^2} \frac{1}{1 + (1-Q)^2} \exp \{ (-\alpha + j\beta) \gamma \} \quad (8)$$

によって与えられる。

当業者にはγが実数であり、jが虚数であることが理解されるであろう。それゆえ反射にπ/2の位相変化が起こる。しかしながら透過において、もしK<0、γなら0の位相変化がありかつK>0、γならπの位相変化がある。輸入反射率はR/αK=0のとき与えられ、これはK=1/2のとき、すべてのファイバおよび結合器損失面に対して満たされる。

この発明の第5実施例を概略的に示す図18図

好ましくは単一モードファイバであるファイバ102が用いられ結合器704の2つの隣接するポート間でループバックされる。結合器704は好ましくは前記された結合器である。入力信号が図100から結合器704の1つのポートに入られる。入力信号の1つの成分1、は結合器704を横断するループを時計の針と反対方向に回る。他の成分2、は結合器704の2つの交差箇所に関して時計の針と異様にループを回る。これらの2つの成分1、および2、はそれから出力されて、ドープされたファイバ102の出力伝導およびファイバ102のリターン信号を形成する。幾何学的推論上の計算は入力フィールドE_{in}、1/E_{in}に対する出力の比は以下の式で与えられることを示す。

$$1 = (1-2K)(1-K) \exp \{ (-\alpha + j\beta) \gamma \} - (7)$$

ここにおいて、

Kは結合器の強直結合比であり、

αは損耗結合器損失であり、

βはフィールド損失であり、

を再び参照して、ポンプ源100は結合器704のファイバ102に結合され多波長結合器704のポートAにおいてポンピング動作を与える。ポートBおよびDの光ファイバ102はオールファイバ発振器を形成するように上に述べた態様でループバックされる。

ポートCにおけるファイバ102はたとえば変換結合またはスプリス領域で、図の実施例において用いられたもののようなドープされたファイバ102に結合される。ドープされたファイバ102は好ましくはネオジウムガラスファイバ(NCF)である。ドープされたファイバ102の中央部分において結合比が0、5(3dBの結合比に相当する)に、かつ波長ポンプのための結合比が0になるように結合器の幾何パラメータがさらに選択される。ポンプ信号をそれゆえループによって完全に伝達されかつドープされたファイバに完全に結合される。しかしながら、結合器はレーザ信号が損失反射率(K=0、5)で反射されるように選択される。反射されたレーザ信号はこうし

で、オールファイバ反射器に関する上の理論上の計算において示される $\pi/2$ の位相変化を渡ける。オールファイバ反射器の反射は次の式で与えられる。

$$R = 4(1-q)(1-q)^2 \exp(-2\alpha l) \quad \dots(9)$$

一方、透過 T は次の式で表わされる。

$$T = (1-R)^2 (1-q)^2 \exp(-2\alpha l) \quad \dots(10)$$

もし $R=1/2$ なら、式(1)および(2)は、

$$R = (1-q)^2 \exp(-2\alpha l) \quad \dots(11)$$

$$T = 0 \quad \dots(12)$$

をもたらす。2つの結果は式(11)および(12)から直観で得る。損失の少ないオールファイバ反射器は完全に近い反射を与え得る。反射されたレーザ信号はそのためドープされたファイバに沿って計算されかつ多重化結合器のフィルタ効果を受け、それによって漏洩の安定性がよくなる。またレーザ信号がポンプ($T=0$)に伝送して戻されないで、信号経路上のフィードバックが減少する。

この実施例において、逆方向信号のみが第1お

よび第2共振器と類似の多重化結合器によってフィルタ処理される。しかしながら、もし利得が十分に大きいなら、出力信号はほぼ完全に逆方向信号からなることが明らかである。前述の実施例に照準して述べた利得はまたオールファイバ反射器の場合においても適用することもまた明らかである。この逆方向実施例は減感ミラーを用いずかつオールファイバ光システムのすべての利点を有する。

第1および第2実施例の透視

前述の実施例において、この発明の最も重要な特徴の1つは多重化結合器によって行なわれるフィルタ機能にある。このようなフィルタ機能によって漏洩のより大きな安定性が可能になる。前述の実施例において用いられた多重化結合器を、そのパラメータが特定の波長における透過に關連して適切に選択された光フィルタと置換することが可能である。ここでこの発明に關するに照して2つの実施例をブロック図の形で簡略的に示した第19図および第20図を参照する。

第19図および第20図において、各々、ポンプ110、高反射率ミラー118、ドープされたファイバ1108および増幅された漏洩依存性を有するフィルタ804を有する4つのブロックが表わされる。第19図に示されるシステムは以下の順序で動作する。ポンプ110はミラー118を照射する光信号を出す。ミラー118はポンプ光を反射するように選ばれた。ミラー118はさらに、ドープされたファイバ1108に結合される。伝送されたポンプ信号はファイバ1108、好ましくはNドグラスファイバ(NDF)を照射しかつもし適切なポンピング条件が合うなら、スーパー蛍光を出す。レーザ信号はドープされたファイバ1108の一方の端における出力である順方向成分1114と逆方向成分1112の2つの成分を有する。ミラー118は逆方向成分1112に対して反射するようには作られかつ逆方向成分1112はドープされたファイバ1108の出力端に向かって戻りに反射される。出力レーザ信号は次いで、漏洩により影響されないようにフィルタ804によってフィル

タ処理される。光結合器の漏洩依存性の漏洩の漏洩に従って、フィルタの漏洩依存性はファイバ線によって出されかつフィルタによってフィルタ処理された信号がフィルタ増幅されないレーザ信号よりも漏洩依存性が低くなるように選択される。

第20図に示された実施例において、フィルタ804はミラー1118とドープされたファイバ1108の間に位置決めされる。このようにして、逆方向成分1112のみがフィルタ804によってフィルタ処理される。逆方向成分1112はフィルタ804を2度横切り、その1度目はミラー1118に向かう途中で、2度目はドープされたファイバ1108の出力端へ戻る途中である。この実施例はドープされたファイバの利得が十分に高いに於ては有利である。

第19図および第20図に示される実施例において多種なフィルタが用いられる。前述の実施例の開示において示されたように、多重化結合器はフィルタとして作用するのによく適している。しかしながら、スーパー蛍光出力信号の漏洩依存

性の減少を致すならいかなるフィルタも適用である。

さらに、第1図図および第2図図に示された上の形態は、この発明の好ましい実施例において開示された非共振ファイバの例にミラーがない)または共振(両端にミラーが設けられた典型的なドープされたファイバ)のいずれであってもいかなるドープされたファイバ線に及び得ることが両業者には理解されるであろう。第1図図および第2図図に示された実施例において、第2ミラー(図示せず)はドープされたファイバ108の第2端に設けられてもよく、それによってファイバ108の共振を誘起する。ファイバ線によって出された出力信号は次いでフィルタ804によってフィルタ処理され、それによって出力信号の温度依存性が大幅に減少する。ファイバ線によって出された出力信号のスーパーバンド特性はフィルタによって生み出されたフィルタ帯域の端において急峻な傾斜を有する。この点に議論された概念は他の周波数の光信号に幅広く適用可能であること

理解図である。

第4図図は本発明で好ましくはマルチプレクサとして使用されるファイバオプティック結合器の断面図であり、与えられた両半半導体でそれぞれの形状の溝に設けられる1対のファイバオプティックストランドを示し、機械的に密に接した2つのファイバオプティックストランドの間に結合を与えるために位置づけられている。

第5図図は最小ファイバスペースングおよびオフセットの選択された値ならびに25センチメートルのファイバ曲率半径に対して、第4図図で示されるような結合器のファイバ結合器の相対結合パワー対信号波長を示す図である。

第6図図は200センチメートルのファイバ曲率半径を有するファイバ結合器に対する第5図図と類似した相対結合パワー対信号波長の図である。

第7図図は4ミクロンの最小ファイバスペースング、200センチメートルのファイバ半径および異なる波長のファイバオプティックセットを有するファイバ結合器に対する相対結合されたパワー対信号波長

が当業者には理解されるであろう。さらに、ファイバ線の放出スペクトルはこの発明の好ましい実施例におけるように広帯域またはより狭い帯域を示す。最後に、この発明の好ましい実施例は与えられた光ファイバ結合器を用いて説明された。与えられた光結合器、異相複合モードの消滅された結合器などの、先行技術の状態の他の種の結合器が用いられ得ることもまた理解されるであろう。

この発明はその特定の実施例に関して述べられたが、当業者には様々な変形および修正が示唆されかつ種々の請求の範囲内の発明および修正を含むことが意図されることが理解されるであろう。

4. 図面の簡単な説明

第1図図および第2図図はNd:YAGのようなドープされた材料を使った4つのレベルのドープされたファイバの動機化されたエネルギーレベル図である。

第3図図は300KでのNd:YAGの振動スペクトルを示す図である。

第3図図は本発明の第1の好ましい実施例を示す

の図である。

第4図図は本発明のスーパーバンドミキサースの出力対入力ポンプパワーを示す図である。

第5図図は825nmのポンプ波長での出力パワーの関数として、本発明のスーパーバンドミキサーススペクトルの半値全幅を示す図である。

第6図図は825nmのポンプ波長に対して4.8mWの合計パワーの本発明のスーパーバンドミキサースの1060nmラインのスペクトルである。

第7図図、第8図図、および第9図図は本発明の好ましい実施例で使用される偏光のない単一モードスーパーバンドドープされたファイバの長さに対する利用ファクタおよび合計出力パワーの範囲を示す。

第10図図は本発明の第2の好ましい実施例を示す図である。

第11図図および第12図図は本発明の好ましい実施例で使用される結合器のフィルタ帯域の温度依存性、および本発明に使ったファイバソース

スペクトルの温度依存性をそれぞれ示す図である。

第14図は本発明のファイバソースに関連して使用される結合部の温度依存性の関係として、本発明のファイバソースの平均スペクトル波長の温度安定性における距離改良を示す図である。

第15図はファイバソースの半径全周に対するフィルタの平均全輪の比の関数としての安定性、およびこの比の関数としての伝送パワーを示す図である。

第16図は本発明の第3の実施例を示す概略図である。

第17図は本発明の第4の実施例を示す概略図である。

第18図は全ファイバ既製器を組込む本発明の第5の実施例である。

第19図および第20図はフィルタを使用する本発明の第5および第6の実施例を示す概略ブロック図である。

図において、100はソース、102および106はファイバ、104および210は結合器、

108はドープされたファイバ、110は接続手段、114は順方向伝導、112は逆方向伝導、120は調整、212はストランド、213は筋、214は対向表面、216はベース、218は前記表面である。

特許出願人 ザ・ボード・オブ・

トラスティーズ・オブ・ザ・

レランド・スタンフォード・

ジュニア・ユニバーシティ

代理人 舟橋上 澤 見 久 郎

(ほか2名)



図面の符号(内容は要し)

FIG. 1a

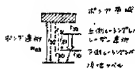


FIG. 1b



FIG. 2

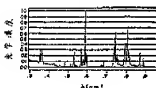


FIG. 4

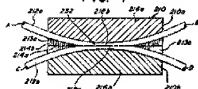


FIG. 3

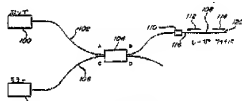


FIG. 5

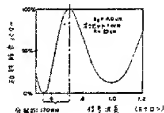
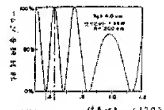


FIG. 6



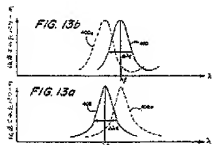
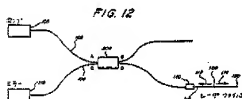
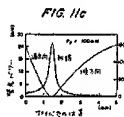
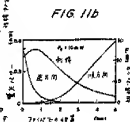
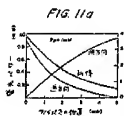
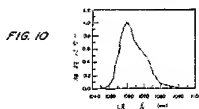
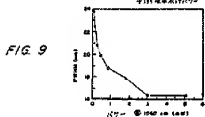
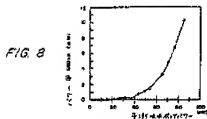
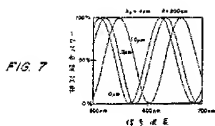
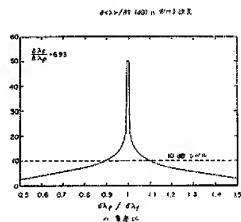


FIG. 14



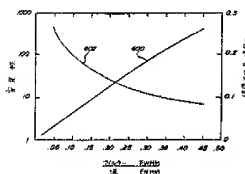


FIG. 15

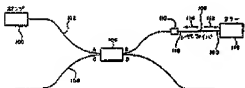


FIG. 16

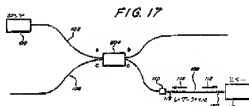


FIG. 17

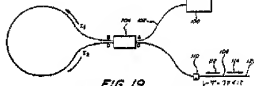


FIG. 18

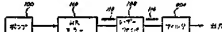


FIG. 19

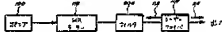


FIG. 20

第1頁の続き

⑥Int. Cl. *

G 02 F 2/02

H 01 S 3/06

3/17

識別記号

序内整理番号

7348-2H

7630-5F

7630-5F

⑦発明者 カレン・リユー

アメリカ合衆国、ニュー・ジャージー州、ローレンスビル
フェザーベッド・コート、25

⑧発明者 ビヤン・ワイ・キム

アメリカ合衆国、カリフォルニア州、メンロ・パーク シ
エアロン・ロード、2225

⑨発明者 ハーバート・ジェイ・
シヨー

アメリカ合衆国、カリフォルニア州、スタンフォード ア
ルバード・ロウ、718

⑩発明者 ジョン・ジェイ・フリ
ング

アメリカ合衆国、カリフォルニア州、ガビオン ホリスタ
ー・ランチ、57

手 続 特 定 書 (方式)

平成2年3月24日

6. 補正の対象

図面本文

7. 補正の内容

銅板のとおり。(内容に変更なし)

以上

特許庁長官宛

1. 事件の表示

平成2年特許第320351号

2. 発明の名称

ファイバオプティクスシステムおよび図像処理回路を有する電装装置

3. 補正をする者

おととの国際特許出願人

名 称 ギャ・ボド・オブ・トラステーズ・オブ・ザ・レランド・スタン

フォード・ジュニア・エンバレーティ

4. 代理人

住 所 大阪府大阪市東区2丁目1番29号 住友銀行南船場ビル

電話 大阪 (06) 361-2021 (代)

氏 名 井関 久 郎

5. 補正内容の日付

平成2年3月24日

方式
番号

